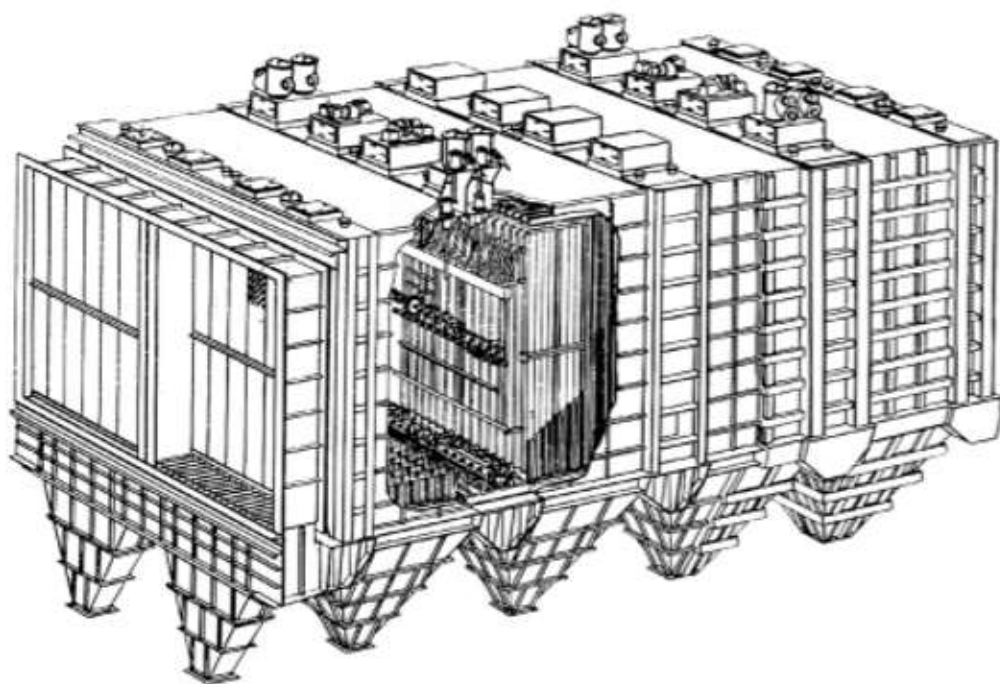
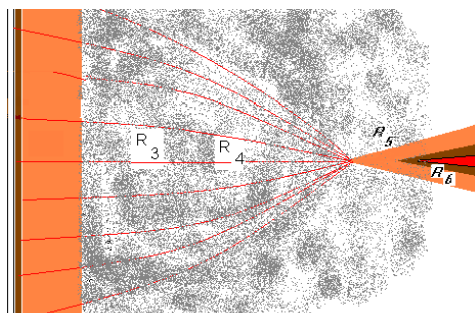


УДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ (УЭС) ПЫЛИ В ЭЛЕКТРОФИЛЬТРАХ



Удельное электрическое сопротивление пыли (золы) в электрофильтрах



К.т.н. Санаев Ю.И., д.т.н. Чекалов Л.В.,

**Удельное электрическое сопротивление (УЭС) пыли (золы)
в электрофильтрах**

В брошюре изложены результаты исследований электрического сопротивления улавливаемой в электрофильтрах (ЭФ) пыли.

Этот параметр является одним из основных, определяющих эффективность работы электрофильтров. Изучению его влияния посвящено большое количество литературы. Вместе с этим влияние электрического сопротивления в настоящее время изучено недостаточно. Одной из причин этого является сложность и несовершенство существующих методов измерения удельного электрического сопротивления (УЭС) улавливаемой пыли. В книге предложен новый метод измерения УЭС слоя пыли. Приведены методы повышения эффективности электрофильтров.

Брошюра предназначена для инженерно-технических работников промышленных предприятий, проектных и исследовательских институтов, занимающихся электрической очисткой газов. Она может быть также полезна студентам соответствующих специальностей.

Редактор Ю.М. Морозов
Технический редактор, дизайн А.Г. Литвинов

Сдано в набор 1.07.2016. Подписано в печать 1.08.2016
Бумага офсетная №1 38стр Тираж 150экз.

152101 п. Семибратово Ярославской обл., ул. Павлова, Д.5.
ЗАО «Кондор-Эко»

Электрическое сопротивление пыли (золы) в электрофильтрах

Введение	5
1. Условное изображение омического сопротивления межэлектродного промежутка электрофильтра (ЭФ).	7
2. Поверхностное и объемное удельное электрическое сопротивление (УЭС) пыли	8
3. Группы пыли по величине УЭС	10
4. Зависимость скорости дрейфа от УЭС от пыли	11
5. Зависимость УЭС от температуры	13
6. Зависимость УЭС золы от ее химического состава	14
7. Влияние УЭС на некоторые параметры ЭФ	16
8. Импульсное и знакопеременное питание ЭФ	17
8.1 Режим экономии электрической энергии при импульсном питании.	18
8.2 Знакопеременное питание	20
9. Существующие методы и устройства измерения УЭС	21
10. Пылеемкость электродов электрофильтра	27
10.1 Методика измерения УЭС по величине пылеемкости электродов.	29
10.2 Пример определение величины УЭС и расчет уточнённой величины интервалов встряхивания осадительных электродов.	33
Заключение	36
Приложение	37
Список использованных источников	38

Введение

Электрофильтр (ЭФ) один из основных аппаратов очистки больших объёмов запылённых промышленных газов. Один современный крупногабаритный аппарат может очистить до миллиона $\text{м}^3/\text{час}$ со степенью очистки до 99 – 99,9%.

Эффективность большинства устаревших ЭФ, находящихся в эксплуатации, в настоящее время составляет примерно 95%, что приводит к выбросам пыли из ЭФ превышающим их возможные выбросы в десятки и сотни раз.

Кардинальное средство достижения требуемых выбросов пыли из устаревших ЭФ – замена их аппаратами нового поколения. Однако это дорогостоящее мероприятие, которое нередко не удаётся реализовать.

Одним из основных технологических параметров, определяющих степень очистки газов ЭФ, является удельное электрическое сопротивление (УЭС) слоя пыли на электродах. Этот параметр при эксплуатации электрофильтров необходимо регулярно контролировать и учитывать. К сожалению, оперативное измерение УЭС до настоящего времени было невозможно.

Величина УЭС оказывает решающее влияние на выбор режима и способа питания полей ЭФ. В зависимости от величины УЭС пыли существенно изменяется вольтамперная характеристика полей ЭФ. При этом от величины УЭС слоя пыли на осадительных и коронирующих электродах зависит величина $U_{\text{пр}} - U_0$, в значительной мере определяющая эффективность ЭФ (см. рис.).



Рис. Типичная вольтамперная характеристика поля ЭФ.

УЭС пыли оказывает влияние на степень очистки газов путём изменения целого ряда параметров:

- **пробивные напряжения по полям ЭФ и напряжение зажигания коронного разряда.** Как видно из рис., по вольтамперной характеристике поля ЭФ с увеличением $U_{\text{пр}}$ и понижением напряжения зажигания U_0 величина $U_{\text{пр}} - U_0$ увеличивается, при этом степень очистки газов возрастает и, наоборот, при уменьшении этой разницы степень очистки уменьшается.
- **условия перезарядки пылевых частиц.** При низком значении УЭС пыли частицы в слое могут терять заряд и снова попадать в пылегазовый поток. В случае высокого значения УЭС в слое пыли на осадительном электроде возникает

обратная корона, ведущая к перезарядке частиц, что резко снижает степень очистки газов в ЭФ.

- **условия отряхиваемости уловленных на электродах слоёв пыли.** В зависимости от величины УЭС слоёв пыли на электродах изменяется режим регенерации осадительных и коронирующих электродов. Так, например, при улавливании низкоомной пыли коронирующие электроды должны встряхиваться чаще. А при улавливании золы экибастузского угля рациональный интервал встряхивания коронирующих электродов последних полей ЭФ достигает нескольких часов.
- **условия функционирования агрегатов питания** существенно изменяются в связи с возникновением неустойчивой их работы при низких значениях параметра $U_{np} - U_0$, особенно часто это происходит при высоком значении УЭС пыли.

Кроме указанных зависимостей, имеется целый ряд других параметров, влияющих на эффективность ЭФ через УЭС слоя пыли, которые будут рассмотрены в предлагаемой брошюре.

Зависимость УЭС пыли от температуры, влажности, дисперсного и химического состава пыли и газов и от других параметров используется в расчете скорости дрейфа улавливаемых частиц. Знание величины УЭС пыли требуется для подготовки газов перед электрофильтрами, при определении рациональных режимных параметров работы ЭФ для интенсификации процесса пылеулавливания.

Все значения УЭС были получены при исследовании точечных проб пыли, отобранных из газоходов методом фильтрации или непосредственно с осадительных электродов ЭФ или из бункеров. Исследование этих проб позволяет отражать изменение УЭС пыли при изменении влияющих параметров. Однако точечные пробы пыли, не могут однозначно отражать УЭС для всего поля и тем более для всего ЭФ. Поэтому проведенные точечные измерения для характеристики УЭС пыли поля требуют уточнения. В настоящее время нет единой методики измерения УЭС пыли ЭФ. Известный ГОСТ 61241-2-2011 предназначен преимущественно для определения взрывобезопасности пыли и не пригоден для определения УЭС пыли электрофильтров.

В настоящее время имеется ряд нерешенных вопросов по выбору приборов и способа измерения величины УЭС пыли. Недостаточно изучены физические процессы, происходящие в слое пыли на осадительных и коронирующих электродах ЭФ.

Здесь приводятся результаты исследований, связанных с измерением УЭС различными способами и влиянием УЭС на работу ЭФ. Предложен метод оперативного измерения УЭС пыли по полям ЭФ.

1. Условное изображение омического сопротивления межэлектродного промежутка электрофилтра (ЭФ).

Рассмотрим подробнее, что представляет омическое сопротивление межэлектродного промежутка ЭФ. На Рис. 1 омическое сопротивление межэлектродного промежутка представлено шестью резисторами, где:

- R_1, R_6 – сопротивление остаточного (неотряхиваемого) слоя пыли на электродах;
- R_2, R_5 – сопротивление отряхиваемых слоев пыли на электродах;
- R_3, R_4 – сопротивление, обусловленное ионизированным газом и пылью межэлектродного промежутка.

Величины сопротивлений R_1, R_6 неотряхиваемых слоев пыли первоначально в момент включения нового ЭФ отсутствуют. Это, вероятно, является одной из причин практически стопроцентной степени очистки газов в начале первого пуска нового ЭФ. Но через некоторое время после включения ЭФ в работу эти резисторы приобретают некоторое значение и степень очистки газов несколько снижается. Величины резисторов R_1 и R_6 изменяются от нуля до некоторой определенной величины и могут регулироваться путем чистки (иногда промывки на ТЭС) электродных систем во время остановок ЭФ.

Величины резисторов R_1 и R_6 изменяются путем изменения режимов встряхивания электродов.

Величины резисторов R_3, R_4 могут изменяться при изменении параметров работы технологического агрегата.

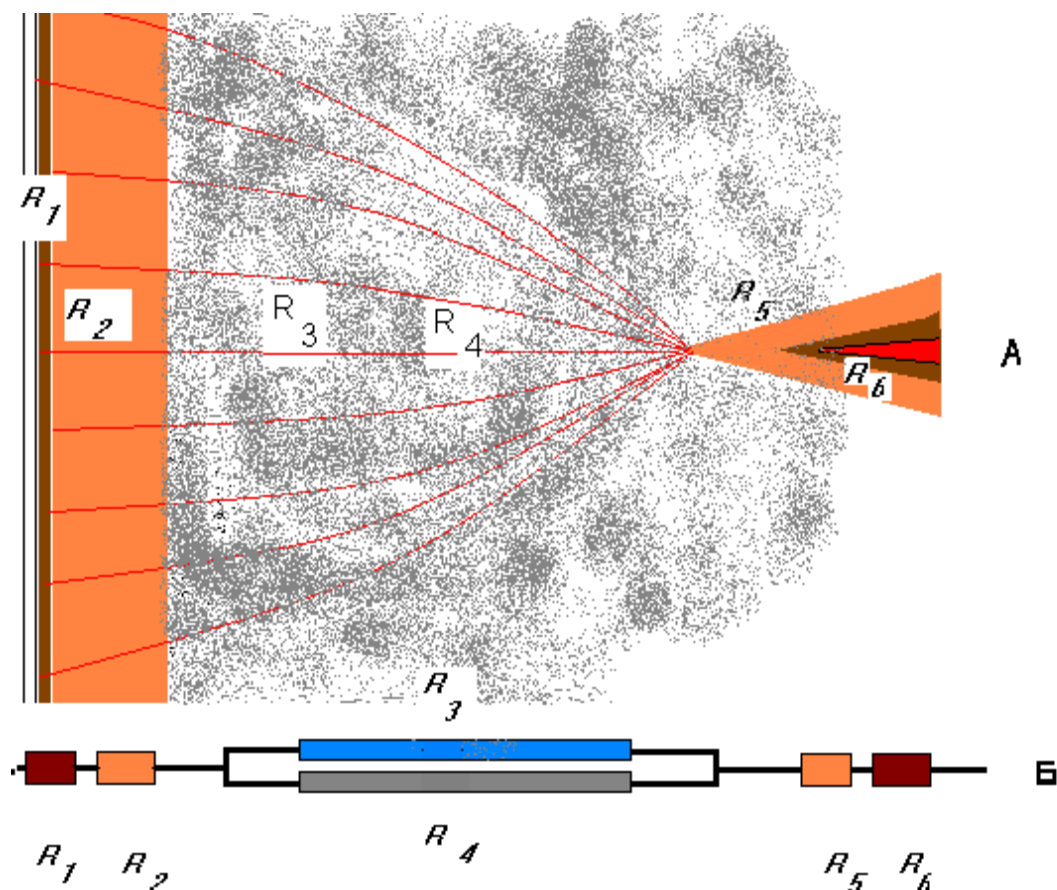


Рис. 1 Условное изображение омического сопротивления межэлектродного промежутка электрофилтра.

А – Расположение пыли в межэлектродном промежутке.
Б – Схема соединения резисторов
R₁, R₆ – сопротивление неотряхиваемого слоя пыли на электродах;
R₂, R₅ – сопротивление отряхиваемых слоев пыли на электродах;
R₃, R₄ – сопротивление, обусловленное газом и пылью межэлектродного промежутка.

Количество межэлектродных промежутков, один из которых представлен на Рис.1, определяется количеством игл коронирующих электродов, зависит от площади осаждения поля и составляет десятки - сотни тысяч таких фрагментов, соединенных параллельно. При этом на входе поля количество осажденной пыли больше, пыль крупнее, она имеет меньшее УЭС, чем на выходе. Учитывая также, то, что каждое поле (полуполе) получает питание от отдельного агрегата, логично предположить, что для характеристики УЭС необходимо определять ее величину характерную для всего поля (полуполя), а не характеризовать УЭС пыли с помощью дискретных проб.

Разработанный в ЗАО «Кондор-Эко» способ измерения УЭС пыли позволяет измерять интегральную величину УЭС для каждого поля ЭФ [8].

2. Поверхностное и объемное удельное электрическое сопротивление (УЭС) пыли

Величина омического сопротивления слоя определяется поверхностным $R_{\text{п}}$ и объемным R_0 сопротивлениями частиц. На поверхностное сопротивление сильное влияние оказывает наличие в газе влаги и кислот. Увеличение влажности пыли от 1 до 15 % может приводить к уменьшению величины УЭС от одного до трех порядков и более. Объемное сопротивление частиц снижается при повышении температуры.

Электрическое сопротивление отдельной частицы можно, при определённых допущениях, представить как параллельное соединение поверхностного сопротивления $R_{\text{п}}$ и объемного – R_0 . Суммарное сопротивление частицы с учетом контактного сопротивления R_K будет:

$$R = \frac{R_{\text{п}} \cdot R_0}{R_{\text{п}} + R_0} + R_K \quad (1)$$

Сопротивление слоя частиц, расположенных под одной коронирующей иглой можно представить следующим образом:

$$R_{\Sigma} = \frac{n}{m} \cdot \left[\frac{R_{\text{п}} \cdot R_0}{R_{\text{п}} + R_0} + R_K \right] \quad (2)$$

где

n - число частиц по толщине слоя (число слоев частиц),
m - число частиц находящихся на площади слоя (площадь отпечатка слоя пыли напротив одной иглы (см. Рис.2.).

Зная значения **n** и **m** можно ориентировочно рассчитать величину сопротивления одной частицы для монодисперсного слоя. При этом следует иметь в виду, что в соответствии с рис. 1, кроме сопротивления слоя пыли на осадительном

электроре R_1, R_2 , необходимо учитывать сопротивление других резисторов R_3, R_4, R_5, R_6 .

Очевидно, что при длительной работе промышленных электрофильтров невозможно наблюдать картины пылевых слоев подобные Рис. 2. При длительной эксплуатации электрофильтра на коронирующих и осадительных электродах появляются неотряхиваемые слои пыли, которые, естественно изменяют картину осаждения пыли.

Однако можно допустить, что картина осаждения пыли напротив игл коронирующих элементов будет в значительной мере близка к картине, представленной на Рис.2. Это позволяет предположить, что величину площади «пятна» на осадительных электродах можно определить пользуясь данными лабораторных исследований. Это создаёт предпосылки для выполнения ориентировочных расчетов сопротивления частиц, пользуясь формулами (1) и (2), а также анализировать характер осаждения пыли, учитывая отпечатки на осадительных электродах лабораторного ЭФ.

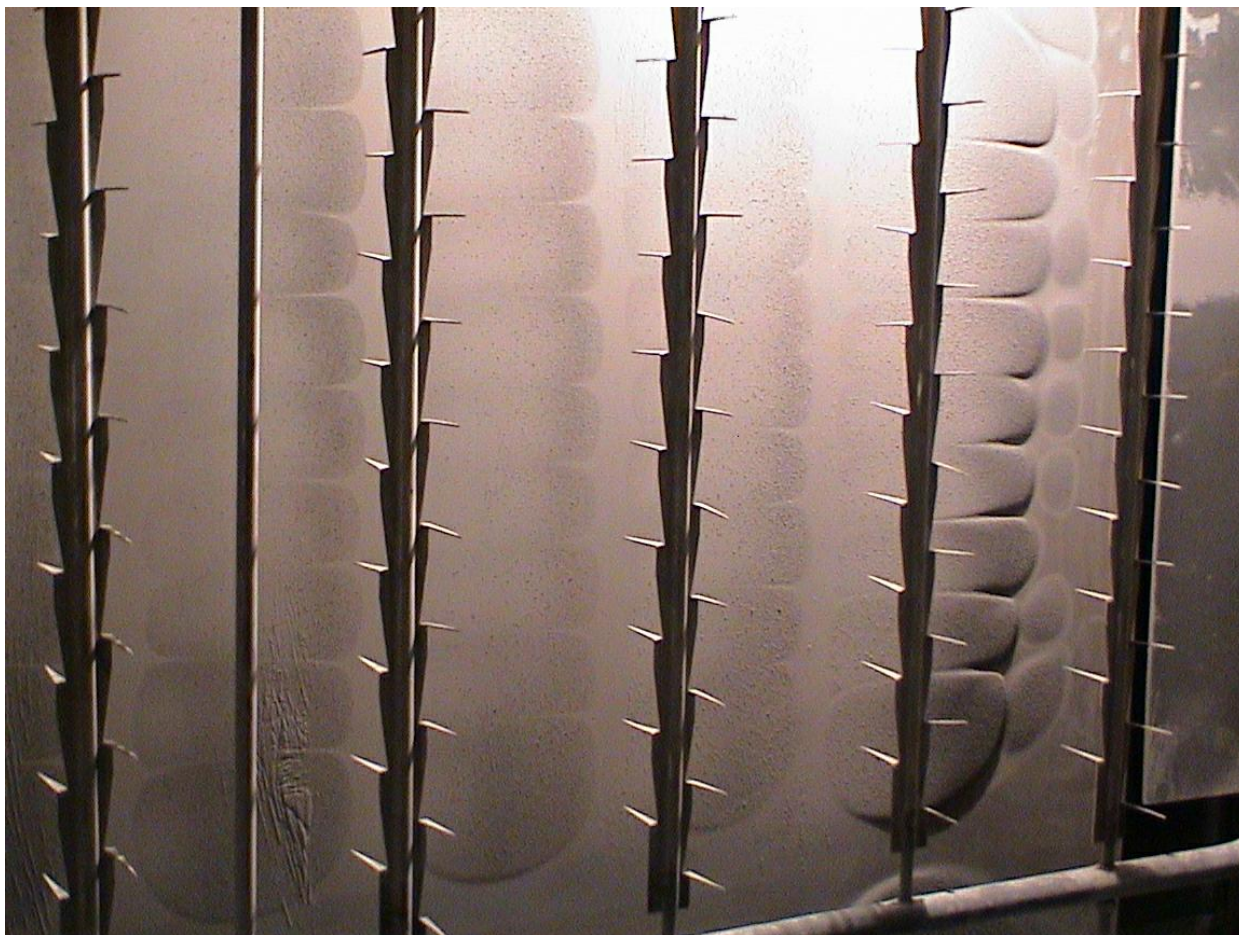


Рис.2 Характер осаждения пыли на осадительном электроде лабораторного электрофильтра.

3. Группы пыли по величине УЭС

По величине УЭС в настоящее время принято разделять пыли на три группы [1]
Очистка промышленных газов электрофильтрами.

- 1 – до 10^2 Ом м
- 2 – от 10^2 до 10^8 Ом м
- 3 – более 10^8 Ом м

Пыли первой группы, например, технический углерод, при осаждении на осадительный электрод быстро теряют свой заряд и могут снова уноситься в газовым потоком, если скорость газа превышает 0,5 м/с. Скорость дрейфа при улавливании в ЭФ таких пылей обычно не превышает 0,06 м/с. При ос.

Для успешного улавливания пылей первой группы скорость газов в активной зоне должна быть существенно снижена. Для снижения скорости газов у поверхности осадительного электрода могут применяться перфорированные перегородки устанавливаемые на осадительные электроды поперек хода газа [9].

Пыли второй группы улавливаются в ЭФ наиболее эффективно. Скорость дрейфа при их осаждении в ЭФ составляет 0,07...0,15 м/с. При этом скорость газов в ЭФ составляет в основном 0,8...1,2 м/с.

Пыли третьей группы наиболее трудно улавливаются в ЭФ. При их осаждении в слое на осадительном электроде происходит большое падение напряжения в слое и пробой слоя, сопровождающийся выбросом положительных ионов и частиц пыли в межэлектродный промежуток. Скорость дрейфа частиц при улавливании пылей третьей группы обычно не превышает 0,3...0,4 м/с. Если улавливается мелкая пыль, вызывающая значительное запираание коронного разряда, то возможно снижение скорости дрейфа ниже 0,3 м/с.

Разные авторы указывают различные величины УЭС, при которых возникает обратная корона. Ужов В.Н. - 10^8 [1], Страус- $>5 \cdot 10^8$ [4]; Э.Уоткинс и К. Дарби - $>10^9$ Ом м. [10] Такое расхождение можно объяснить во- первых применением разнообразных приборов и методов измерения УЭС. Во - вторых, вероятно, для разных условий эта величина будет различной, и наконец, как следует из Рис.3 и 4, не существует резкой границы по величине УЭС, при которой должна возникать обратная корона.

Основная масса пыли улавливается на осадительных электродах. Как показали эксперименты на лабораторном ЭФ, при улавливании пыли цемента марки 300 на ленточно-зубчатых коронирующих элементах осажается около 1% пыли.

Описание свойств пыли, осевшей на иглах коронирующих электродов в литературе не встречается. Изучение и учет свойств пыли на коронирующих элементах, безусловно, представляет значительный интерес. Большинство методик ориентированы на измерение УЭС пыли путем измерения точечных проб пыли, отобранных с поверхности осадительных электродов, из бункеров или из потока газа на входе и выходе ЭФ путем изокINETического отбора проб из газа с помощью пылезаборных трубок.

4. Зависимость скорости дрейфа от УЭС от пыли

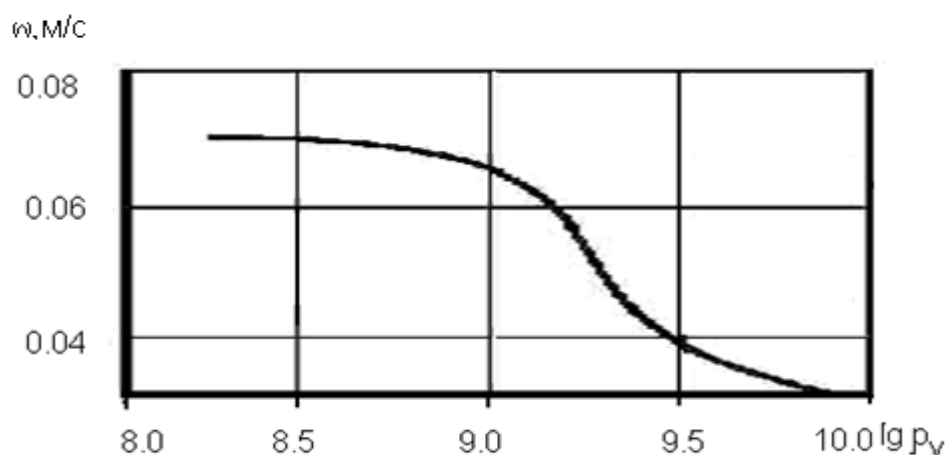
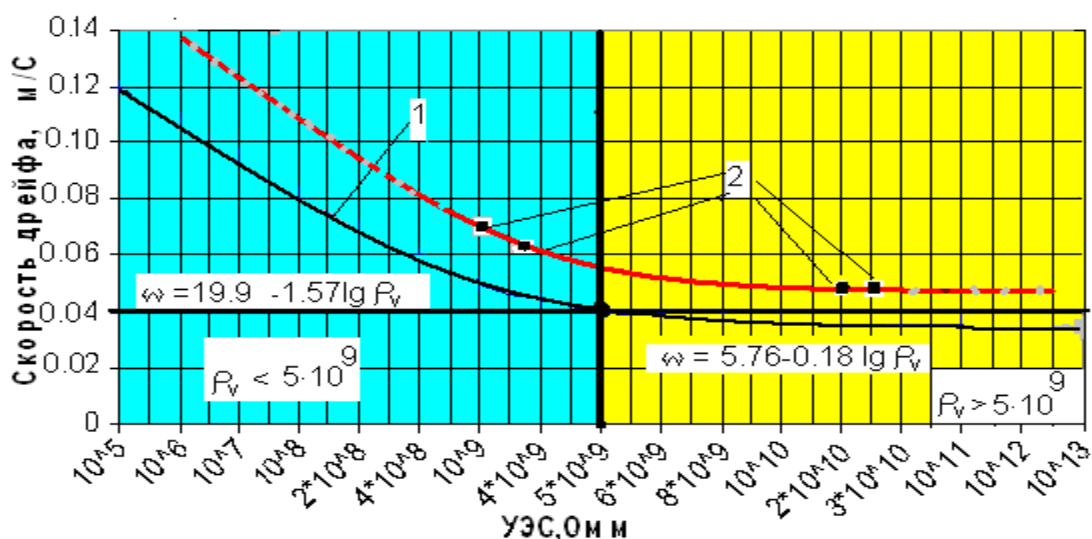


Рис. 3 Зависимость скорости дрейфа от УЭС пыли. Данные МЭИ

Зависимость, приведенная на Рис.4, отражает факт постепенного изменения величины скорости дрейфа при изменении УЭС и отсутствие резкой границы, при которой может возникать обратная корона в промышленных электрофильтрах. При построении этой зависимости использованы данные 27 отечественных ЭФ, работающих в различных отраслях промышленности.

Эта зависимость не может претендовать на точность, так как величина УЭС измерялась различными способами, и степень очистки газов, по которой производился расчет скорости дрейфа получена из различных источников. Однако зависимости, полученные для электрофильтров четвертого поколения подтверждают характер, полученный на Рис. 4.



1 - электрофильтры (ЭФ) СССР, 2- ЭФ- с кор. эл. СФ-1

Рис. 4 Зависимость скорости дрейфа от УЭС пыли.

1 – для ЭФ СССР, 2 – для ЭФ нового (четвертого) поколения разработки ЗАО «Кондор - Эко».

В этой зависимости можно выделить две части с условной границей между ними в точке с координатами $\rho_v = 5 \cdot 10^9$ Ом м и $\omega = 0.04$ м/с. Правая часть кривой характеризуется скоростью дрейфа в диапазоне примерно 3...4 см/с, а величина УЭС в этом диапазоне изменяется более чем на четыре порядка.

В левой части скорость дрейфа изменяется в три раза – от 0,04 до 0,12 м/с, а УЭС примерно на четыре порядка. Для ЭФ нового поколения величина скорости дрейфа имеет значение большее примерно в 1,3 – 1,4 раза.

Для электрофильтров четвёртого поколения изготавливаемых ЗАО «Кондор-Эко» увеличение скорости дрейфа обусловлено пониженным напряжением зажигания коронного разряда, применением осадительных элементов типа Эко МК4х160, применением микропроцессорного управления агрегатами питания и др. Зависимость, приведенная на Рис.4, может использоваться при ориентировочном определении времени пребывания газов $t_{пр}$ в электрофильтре для обеспечения требуемой степени очистки газов. Для этой цели может быть использована следующая формула:

$$t_{пр} = \frac{H_0 \ln(1 - \eta)}{\omega} \quad (3)$$

где H_0 — межэлектродное расстояние

η — требуемая степень очистки газов электрофильтром

ω — скорость дрейфа частиц в электрофильтре, зависящая от УЭС.

Очевидно, что кроме УЭС, имеется еще целый ряд параметров, которые необходимо учитывать при уточненном расчете степени очистки газов электрофильтром.

Величины сопротивления R_2 , R_5 отряхиваемых слоев пыли зависят в действующем ЭФ от периода времени между импульсами встряхивающих механизмов и могут регулироваться путем изменения величины интервалов встряхивания и интенсивности встряхивающего импульса.

В связи с тем, что свойства уловленной пыли по полям изменяются, существует необходимость измерения величины УЭС для каждого поля (полу-поля) питающегося, от отдельного высоковольтного агрегата. В связи с этим, безусловный интерес представляет измерение УЭС для каждого конкретного поля ЭФ обслуживающим персоналом, для уточнения режимов эксплуатации ЭФ.

В результате экспериментов в лабораторных условиях установлено, что УЭС пыли зависит от дисперсности частиц, плотности слоя частиц, от приложенного напряжения, влажности, химического состава пыли, температуры и других параметров [4]. При повышении содержания влаги УЭС пыли снижается, особенно при температуре газов ниже 90 °С. Максимум величины УЭС при изменении температуры находится примерно в диапазоне 90...180 °С. При дальнейшем увеличении температуры УЭС снова падает. В этом случае проводимость может быть обусловлена электронной или ионной проводимостью материала частиц.

В соответствии с рис.4 скорость дрейфа при возрастании УЭС плавно снижается. Её значение составляет, например, при $\rho_v = 10^7 - 9$ см/с; при $\rho_v = 10^8 - 8$ см/с; при $\rho_v = 10^9 - 5$ см/с.

Можно рассмотреть два случая влияния слоя пыли на осадительном электроде:

1-й случай. Слой пыли обладает высоким УЭС, но не подвержен электрическим пробоям.

В этом случае падение напряжения в слое будет:

$$U_{сл} = i_s \cdot R = i_s \cdot \rho_v \frac{l}{S}$$

где i_s — поверхностная плотность тока $i_s = 0,15 \cdot 10^{-3}$ А/м²;

ρ_v — УЭС слоя $\rho_v = 2 \cdot 10^{10}$ Ом м;

l — толщина слоя на электроде $l = 0,3 \cdot 10^{-2}$;

S — площадь осаждения $S = 1$ м²;

Тогда $U_{\text{сл}} = 0,15 \cdot 10^{-3} * 2 \cdot 10^{10} * 0,3 \cdot 10^{-2} = 9 \cdot 10^3 \text{ В}$

При величине приложенного напряжения, например 45 кВ напряжение в межэлектродном промежутке электрофильтра составит:

$$45 - 9 = 36 \text{ кВ.}$$

При разрядном промежутке 15 см напряженность промежутка без слоя пыли составит 3 кВ/см, а при наличии слоя - 2,45 кВ/см, что снизит скорость дрейфа в 1,5 раза, а степень очистки при исходной степени 99% – до 95,5% и, следовательно, выбросы возрастут в $(1 - 95,5)/(1 - 0,99) = 4,5$ раза.

2-й случай. Слой пыли на электродах обладает высоким УЭС и подвержен электрическим пробоям.

Скорость стекания зарядов из слоя низкая. Происходит их накопление в слое и в нем происходят электрические пробой сначала между частицами внутри слоя, а затем и на его поверхности [4]. При этом возникает обратная корона.

Происходит выброс положительных ионов в межэлектродный промежуток, ток короны увеличивается в несколько раз. Величина скорости дрейфа резко снижается и соответствует таковой в правой части Рис. 4. Степень очистки снижается, выбросы возрастают более, чем в 1-м случае.

5. Зависимость УЭС от температуры.

Обратная корона возникает и для сухой пыли, улавливаемой в ЭФ (кривая А на рис.5).

Для устранения обратной короны необходимо создавать условия для стекания электрических зарядов из слоя. Для этого существуют пути:

- снижение величины УЭС;
- уменьшение тока на слой;
- выравнивание равномерности плотности тока на слой.

УЭС материала в определенном диапазоне может понижаться с ростом температуры,

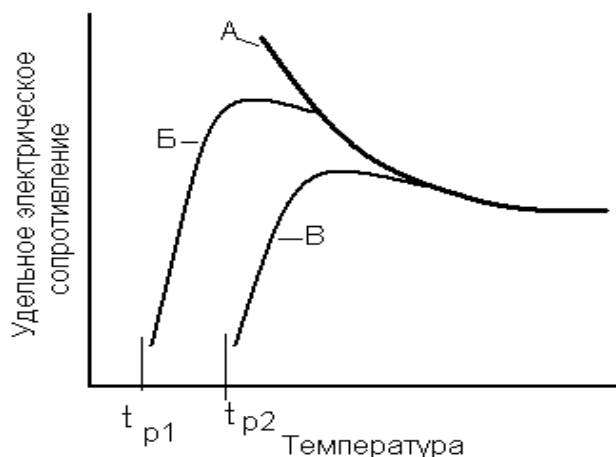


Рис. 5 Зависимость УЭС от температуры.

На величину УЭС слоя пыли влияет способность частиц адсорбировать на своей поверхности присутствующие в газе компоненты обладающие низким УЭС - воду, серный ангидрид и др. Если температура приближается к точке

росы, то адсорбция резко увеличивается и приводит к увеличенному падению УЭС. Этот процесс характеризуется кривой **Б** для точки росы t_{p1} и кривой **В** для точки росы t_{p2} .

Таким образом, характер зависимости УЭС слоя описывается кривой с максимумом (Рис 5,6). УЭС можно уменьшать при снижении температуры газа. Если это по какой-либо причине невозможно, то можно приблизить точку росы к рабочей температуре увеличением в газах компонентов, повышающих эту точку водяных паров, серного ангидрида и др.

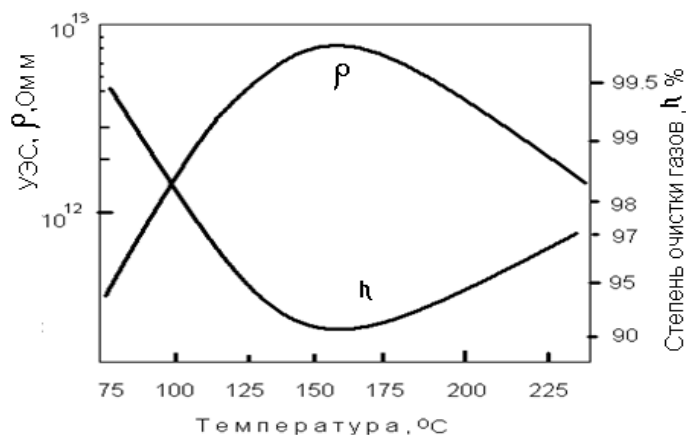


Рис. 6 Влияние температуры и точки росы газа на величину УЭС и степень очистки газов.

6. Зависимость УЭС золы от ее химического состава

Известно, что величина УЭС золы зависит от ее химического состава.

Считается, [12], что при содержании $Al_2O_3 + SiO_2$ более, чем 85 % требуется изменения технологии очистки, заключающееся в увеличении площади осаждения секций и добавлении количества полей для обеспечения требуемых выбросов.

Всесоюзным Теплотехническим Институтом им. Дзержинского было предложено характеризовать УЭС золы с помощью коэффициента

$$K_p = (Al_2O_3 + SiO_2)A_p / (W_p + 9H_p)S_p.$$

Как следует из Рис.7 при значениях K_p больших 120, следует ожидать появление в ЭФ обратной короны. Зависимость УЭС и параметра

$$K_p = (Al_2O_3 + SiO_2)A_p / (W_p + 9H_p)S_p$$

от суммы $Al_2O_3 + SiO_2$ для некоторых энергетических углей РФ представлена в Таблице 1.

Из таблицы 1 следует, что наиболее высокое значение K_p имеется при высоком значении УЭС. Известно, что при этом для достижения требуемых выбросов пыли на выходе электрофильтра требуется увеличение времени пребывания газов в активной зоне ЭФ до 25... 30 с. и соответствующего увеличения длины ЭФ.

Таблица 1

Зависимость ρ_v (УЭС)
и параметра $K_p = (Al_2O_3 + SiO_2)A_p / (W_p + 9H_p)S_p$ от суммы $Al_2O_3 + SiO_2$
для некоторых энергетических углей

Тип угля	ρ_v	K_p	Al_2O_3	SiO_2	$Al_2O_3 + SiO_2$	W_p	H_p	S_p	A_p
Куучинский	-	230	29	63	92	5,5	2,3	0,8	41
Экибастузский	$3 \cdot 10^{10}$	177	24	63,2	87,2	5,1	-	0,75	38
Черемховский	-	49	27	59	86	25	2,0	1,1	27
Карагандинский	$1,2 \cdot 10^{10}$	94,8	24,8	57,7	82,5	7,7	2,0	0,9	30,1
Воркутинский	$8 \cdot 10^9$	73	19,1	62,2	81,3	5,5	2,2	0,7	35
Азейский	-	46	29	52	81	25	2,0	1,1	27
Гусиноозерский	$9,8 \cdot 10^9$	62	23	53,2	76,2	20,4	2,1	0,5	22,6
Донецкий	$1,8 \cdot 10^{10}$	40	18,6	51,4	70,0	8,3	2,0	2,3	35
Кузнецкий	$2,2 \cdot 10^{10}$	87,6	18	49,7	67,7	10,3	-	0,5	18,3
Ангренский	$9,6 \cdot 10^9$	12,5	17,5	45,6	63,1	35	2,3	1,3	14,3
Ирша-Бородинский	10^9	38,9	6,8	47,6	54,4	33	-	0,2	7,3
Березовский	$2 \cdot 10^7$	27,5	11,8	31,4	43,2	35,5	2,2	0,2	7

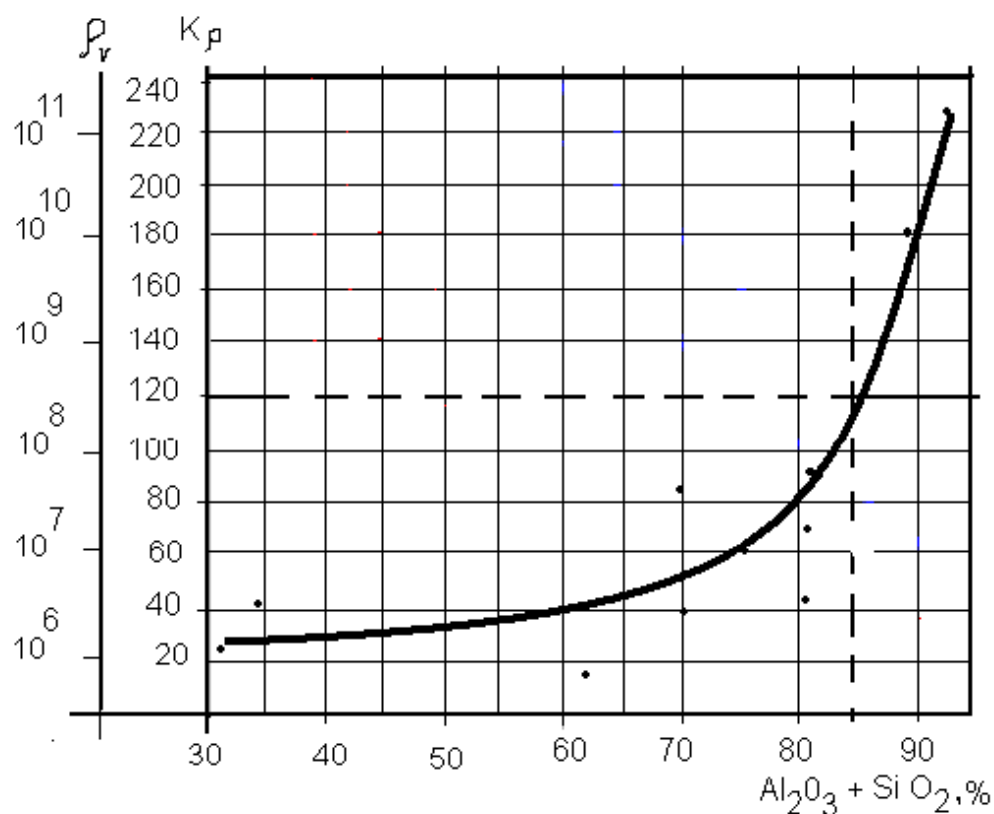


Рис. 7 График зависимости (УЭС) и параметра
 $K_p = (Al_2O_3 + SiO_2)A_p / (W_p + 9H_p)S_p$
от суммы $Al_2O_3 + SiO_2$

7. Влияние УЭС на некоторые параметры ЭФ

Для коронирующих электродов УЭС пыли сказывается при улавливании низкоомной пыли, которая, осаждаясь на коронирующих участках, приводит к увеличению их радиуса кривизны, увеличению напряжения зажигания короны, снижению тока короны и как следствие - к снижению степени очистки газов.

Осаждение высокоомной пыли на коронирующих участках приводит к её пробое и не вызывает быстрого снижения тока короны.

При осаждении низкоомной пыли на осадительных электродах может происходить её срыв потоком газа, если скорость его больше примерно 0,5 м/с. Осаждение высокоомной пыли на осадительных электродах приводит к обратной короне.

Успешная работа электрофильтров нового поколения позволяет обеспечить требуемые нормы выбросов пыли и чистоту атмосферного воздуха территорий в районе ТЭС, цементных и металлургических заводов и других предприятий.

ЭФ нового поколения ЗАО «Кондор-Эко» могут обеспечивать степень очистки газов от пыли до 99,9% и выбросы пыли менее 50 мг/м³ [6,7,8,13].

Таблица 2

Влияние УЭС слоя пыли, осаждаемой на осадительных и коронирующих электродах на параметры ЭФ.

В таблице m_0 и μ_0 – соответственно оптимальная пылеемкость осадительных и коронирующих электродов.

Группа пыли. Величина УЭС ρ_v Ом.м.	Величина слоя пыли на осадительном электроде. $m_0 = 3,14 \cdot 0,25 \lg \rho_v$, кг/м ²	Величина слоя пыли на коронирующем электроде. $\mu_0 = 13 \lg \rho_v - 77$ кг/м	Величина скорости дрейфа, м/с.	Величина скорости газов, м/с	Время пребывания, с	Характерная пыль
I $\rho_v < 10^2$	$m_0 > 2,6$ Быстрый разряд частиц слоя. Неоднократное попадание частиц в поток газа. Слой пыли должен иметь максимальную толщину.	μ_0 - имеет минимальное значение Слой пыли на коронирующих элементах должен быть минимальным.	0,05...0,06	0,3...0,5	15...20с	Технический углерод
II $\rho_v = 10^2 \dots 5 \cdot 10^8$	$m_0 = 2,6 \dots 0,7$ Наилучшее улавливание пыли	$\mu_0 = 1 \dots 27$ г/м	0,08...0,15	0,9...1,3	15с	Зола назаровского угля, пыль печей мокрого способа производства цемента
III $\rho_v > 5 \cdot 10^8$	$m_0 = 0,7 \dots 0,14$ Электрический пробой слоя. Наличие обратной короны Минимальный слой пыли на электроде	$\mu_0 = 27 \dots 79$ г/м Максимальный слой пыли. Пробой слоя пыли на коронирующих участках.	0,07...0,03	0,3...0,7	До 25...30с.	Зола экибастузского угля, пыль печей сухого способа производства цемента.

Как следует из таблицы, наиболее низкое значение скорости дрейфа имеется при высоком значении УЭС. При этом для достижения требуемых выбросов пыли на выходе электрофильтра требуется увеличение времени пребывания газов в активной зоне ЭФ до 25... 30 с. и соответствующего увеличения длины ЭФ.

Перспективным направлением повышения эффективности электрофильтров, в частности при улавливании высокоомных пылей, является применение нестандартных видов питания.

В последнее время выполнены исследования, показывающие целесообразность применения импульсного и знакопеременного питания.

Перспективным направлением повышения эффективности электрофильтров, в частности при улавливании высокоомных пылей, является применение нестандартных видов питания. В последнее время выполнены исследования, показывающие целесообразность применения импульсного и знакопеременного питания.

8. Импульсное и знакопеременное питание ЭФ

Импульсное питание электрофильтров – новая технология очистки газов в электрофильтрах, позволяющая им выиграть очередной этап конкуренции с рукавными фильтрами.

Ужесточение требований к охране окружающей среды потребовало применять более крупные и соответственно более дорогие и энергоемкие электрофильтры. Серьезная конкуренция со стороны рукавных фильтров, повышение стоимости металла, электроэнергии и большие эксплуатационные расходы на очистку газов вынудили разработчиков электрофильтров начать поиск методов интенсификации процессов очистки газов в электрофильтрах и существенного снижения расхода электроэнергии на очистку.

Исследования по электрической очистке газов сосредотачиваются, в частности, на разработке таких новых режимов питания электрофильтров, которые обеспечивали бы устранение обратной короны, ухудшающей очистку газов электрофильтрами. Большое внимание уделяется дифференцированному выбору режимов питания ЭФ в зависимости от свойств улавливаемых пылей.

Наиболее гибким и эффективным режимом питания электрофильтров является импульсное питание, о котором в последнее десятилетие идет речь в подавляющем числе публикаций, связанных с питанием электрофильтров [6].

Импульсное питание может обеспечить в электрофильтрах три преимущества:

- экономию электроэнергии;
- коррекцию возникновения обратной короны и управление ее интенсивностью;
- повышение эффективности очистки газов.

Эти преимущества вытекают из принципа импульсного питания, позволяющего плавно регулировать плотность тока коронного разряда при максимальных амплитудных напряжениях на электрофильтре без снижения равномерности распределения плотности тока и напряженности поля у осадительных электродов.

Само по себе импульсное питание в зависимости от конкретных условий работы электрофильтра может обеспечить в той или иной степени одно из вышеперечисленных преимуществ, и поэтому может быть осуществлено в одном из трех режимов.

Существенная экономия электроэнергии может обеспечиваться при некотором повышении эффективной скорости дрейфа частиц с минимальными затратами на модернизацию существующих агрегатов питания или практически при той же стоимости новых агрегатов питания.

Возможность коррекции возникновения обратной короны обеспечивает как существенную экономию электроэнергии, так и повышение эффективной скорости дрейфа частиц, но лишь за счет значительных затрат на модернизацию агрегатов питания или увеличения стоимости новых агрегатов питания.

Если в первых двух случаях повышение эффективной скорости дрейфа является следствием коррекции возникновения или снижения интенсивности обратной короны, то повышение эффективности улавливания кроме того может достигаться за счет

увеличения амплитуды напряжения, напряженности поля у осадительных электродов, совершенствования конструкции электродных систем и других факторов.

Доминирующая роль того или иного преимущества в реализации импульсного питания определяется при прочих равных условиях параметрами импульсов, и прежде всего длительностью импульса напряжения.

На практике используются милли-, микро- и наносекундные импульсы. Выбор длительности импульса зависит от режима, который пытаются реализовать. При использовании миллисекундных импульсов реализуется в основном первое преимущество импульсного питания. Использование микросекундных импульсов позволяет реализовать уже два преимущества – первое и второе. Использование наносекундных импульсов дает возможность реализовать все три преимущества импульсного питания.

Конструкция системы электродов электрофильтра с импульсным питанием может быть двух- или трехэлектродной. При прогнозировании возможных преимуществ необходимо учитывать различие в конструкции коронирующих электродов.

Достижение того или иного преимущества импульсного питания основано на строгих теоретических концепциях, охватывающих все возможные режимы.

8.1 Режим экономии электрической энергии при импульсном питании.

По этому направлению интенсивные исследования проведены фирмой «Мицубиси», которая разработала систему МІЕ. Фирма длительное время вела испытания на моделях и реальных промышленных электрофильтрах. Аналогичные исследования провел К.А. Веремьев [13]. Принцип импульсного питания в этом режиме состоит в том, что тиристорный регулятор в классической схеме двухфазного источника импульсно подключает его к сети. Через электрофильтр в это время протекает ток коронного разряда, и напряжение возрастает. Затем тиристорный регулятор отключает источник питания от сети, ток через электрофильтр не протекает, напряжение на нем медленно снижается.

Таким образом, помимо существующего импульсно-фазового регулирования тиристорных осуществляется широтно-импульсная модуляция их работы, которая позволяет регулировать форму напряжения и тока электрофильтра, поддерживая минимальное потребление электроэнергии при неизменной или повышенной эффективной скорости дрейфа частиц.

На рисунке 8 показаны стилизованные формы управляющего сигнала U_y на управляющем симисторе агрегата питания, напряжение на первичной обмотке повышающего трансформатора U_1 и ток в цепи Рис. 8. выпрямителя агрегата питания I_2 .

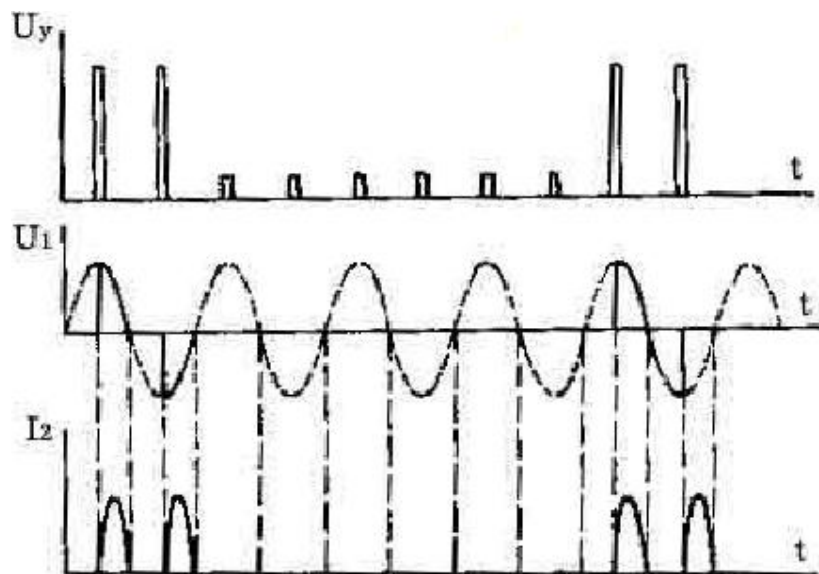


Рис. 8 Осциллограммы напряжения и тока при прерывистом питании.

Для тиристорных агрегатов питания при фазоимпульсном регулировании ток питания в агрегате подвергается преобразованию, и на электрофильтр подаются два импульса выпрямленного тока нагрузки. В течение одного или нескольких периодов сетевое напряжение к первичной обмотке трансформатора не прикладывается, так как управляющие сигналы на тиристоры не поступают, и они заперты. Соотношением интервалов подачи напряжения T_1 и снятия его T_2 с первичной обмотки трансформатора регулируется плотность тока электрофильтра.

Показатель этой широтно-импульсной модуляции характеризуется коэффициентом скважности:

$$K_c = T_1 / (T_1 + T_2)$$

Расход электроэнергии на очистку в этом случае примерно пропорционален коэффициенту скважности. Практически используемые величины K_c в значительной мере определяются величиной УЭС пыли и имеют значения в диапазоне 0,5 – 0,05.

Соответственно расход электроэнергии составляет 50 – 5% от уровня, отвечающего обычным источникам питания. Наилучшие результаты получены при УЭС улавливаемой пыли $10^9 - 10^{11}$ Ом·м, когда наблюдается интенсивная обратная корона. При этом достигается увеличение скорости дрейфа в 1,1 – 1,7 раза. При улавливании пылей с УЭС менее 10^9 Ом·м этот режим утрачивает свои преимущества с точки зрения повышения эффективности улавливания.

На рис. 9 приведено качественное распределение напряжения в промежутке между электродами электрофильтра для различных скважностей и, как следствие, плотностей тока при одинаковом среднем напряжении на электродах.

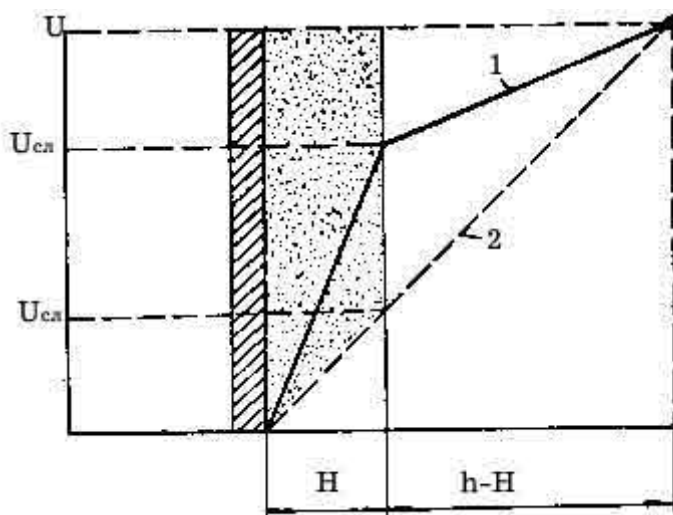


Рис. 9 Стилизованное распределение напряжения в межэлектродном промежутке со слоем пыли;

1 – с увеличенной плотностью тока короны;

2 – с пониженной плотностью тока короны;

Н – толщина слоя пыли; **h** – межэлектродное расстояние.

При увеличенной плотности тока (кривая 1) при одинаковых УЭС слоя напряжение на слое $U_{сл}$ должно быть выше, чем в случае пониженной плотности тока. Средняя напряженность в промежутке между коронирующим электродом и слоем, если напряжение источника U не изменяется, в первом случае меньше, чем во втором. Таким образом, средняя напряженность в промежутке для случая меньшей плотности тока может оказаться из-за влияния падения напряжения на слое выше, чем при большой плотности тока.

Эквивалентная схема слоя пыли, осажденного на осадительных электродах, представляется в виде параллельно соединенных конденсатора емкостью C и активного сопротивления R . Процесс изменения напряжения на слое при подъеме напряжения на электрофилт্রে описывается формулой:

$$U_{\text{сл}} = I_k \cdot R(1 - e^{t/\tau})$$

где $\tau = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \rho_{\text{сл}}$;

I_k — ток коронного разряда.

В течении времени, когда протекает ток и , соответственно напряженность $E_{\text{сл}} = U_{\text{сл}}/H$ растут, и когда напряженность в слое превысит уровень ионизации, возникает обратная корона. Следствием является снижение эффективности электрофилтра, в первую очередь из-за снижения пробивного напряжения, снижения напряженности электрического поля и перезарядки частиц в межэлектродном промежутке. Скорость дрейфа частиц:

$$\omega = -\frac{Q}{S} \cdot \ln(1 - \eta)^{1/m}$$

где m — показатель степени, зависящий от медианного диаметра и дисперсии распределения частиц по размерам.

Скорость дрейфа частиц характеризующая эффективность пылеулавливания может определяться следующими параметрами электрического режима:

$$\omega_k = k_1 \cdot k_2 \cdot E_g \cdot E_{\text{ср}} \cdot (U_a - U_0) \cdot U_{\text{ср}}$$

где k_1, k_2 — коэффициенты пропорциональности:

E_g — напряженность в точке заряда частиц, пропорциональная амплитуде напряжения U_a на электрофилт্রে;

$E_{\text{ср}}$ — напряженность в зоне осаждения пыли, пропорциональная среднему напряжению $U_{\text{ср}}$ на электрофилт্রে;

U_0 — напряжение зажигания коронного разряда.

Если в момент времени, когда напряжение на слое выросло до уровня, вызывающего обратную корону, прервать ток коронного разряда, то слой начнёт разряжаться, и обратная корона не возникает. В этом случае пробивные напряжения выше и амплитуда напряжения U_a будет увеличена. Снижение среднего напряжения будет определяться длительностью перерыва питания электрофилтра и зависит от снижения интенсивности обратной короны. Такое снижение может быть компенсировано устранением обратной короны, при этом скорость дрейфа частиц даже увеличивается.

8.2 Знакопеременное питание

В МЭИ проф. Мирзабекином Г.З. развита теоретическая основа применения питания ЭФ знакопеременным напряжением [14]. При улавливании высокоомных пылей слой, образующийся на осадительных электродах из-за очень низкой проводимости, заряжается до потенциала, при котором напряженность в порах слоя вызывает ионизацию газа, их заполняющего, возникает обратная корона со слоя.

Зарядка слоя происходит с определенной постоянной времени, зависящей от плотности объемного заряда в промежутке, подвижности ионов и проводимости слоя.

Если изменить знак ионов в промежутке, то будет формироваться на существующем слое частиц новый слой другого знака. Можно формировать таким образом толщину этих слоев, чтобы не было в них пробоя и, таким образом, устранить отрицательные действия на степень очистки газов ЭФ обратной короны и улучшить отряхивание пыли с электродов.

ФГУП ВЭИ длительный период времени занимается разработкой систем знакопеременного питания (ЗПП) на основе высоковольтных электронно-лучевых вентилей для ЭФ. При знакопеременном питании ЭФ напряжение между коронирующим и осадительным электродами периодически изменяется на противоположное (рис.10).

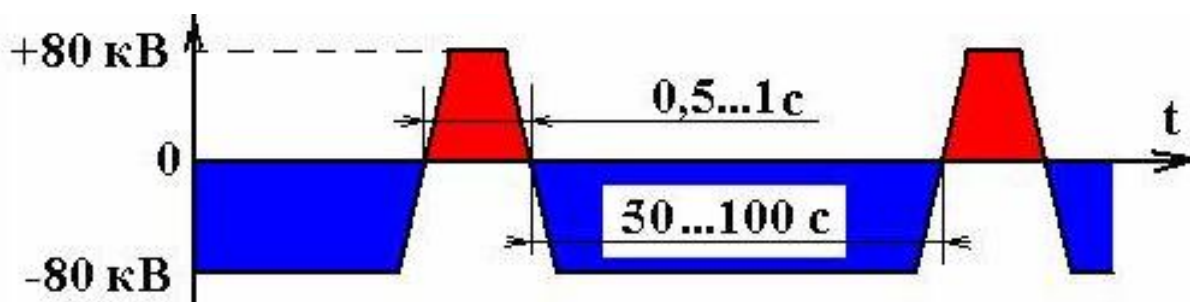


Рис. 10 Осциллограмма напряжения на коронирующем электроде при знакопеременном питании.

Отрицательная полярность на коронирующем электроде, обеспечивает эффективное осаждение пыли на осадительном электроде. Положительная полярность обеспечивает снижение отрицательного заряда на слое пыли и погасание обратной короны, которая препятствует осаждению пыли и может практически заблокировать работу электрофильтра. Длительность положительного и отрицательного напряжения может определяться экспериментально, например, с помощью оптического пылемера по минимуму пылеуноса на выходе ЭФ. Практически, длительность отрицательной полярности 30...100 с, а положительной 1-2 с, для высокоомных пылей золы угля, например, Кузнецкого бассейна. Минимальное значение длительности фронта переключения практически составляет 5...8 мс и определяется максимальным значением тока коммутатора и электрической ёмкостью электрофильтра. Для выбора параметров знакопеременного питания необходимо точное знание Величины УЭС по полям.

Для экспериментальных исследований эффективности ЗПП ФГУП ВЭИ разработана и изготовлена опытная партия двух типов источников.

Промышленные испытания источника с ЗПП по данным ФГУП ВЭИ показали снижение пылеуноса в 2...2,5 раза для высокоомных пылей и наличие самочистки электродов. Если при питании постоянным напряжением высокое УЭС приводит к обратной короне и снижению степени очистки газов ЭФ, то при ЗПП обратная корона устраняется. В условиях сжигания на ТЭЦ низкосернистых углей способ ЗПП конкурентно способен с кондиционированием газов. [6].

9. Существующие методы и устройства измерения УЭС.

Величина УЭС слоя пыли в ЭФ зависит от объемной и поверхностной проводимости пылевых частиц, а также от свойств и количества контактов между

частицами при их осаждении на электроды. Обычно величина УЭС пылей, улавливаемых в ЭФ, находится в диапазоне $10^2 \dots 10^{12}$ Ом м.

При измерении УЭС пыли в ЭФ возникают следующие особенности:

- Величина УЭС пыли уловленной в ЭФ зависит от толщины слоя, характера упаковки частиц, величины питающего напряжения, состава газов и др. параметров.
- Величина УЭС пыли изменяется по длине полей ЭФ из-за различной дисперсности частиц, толщины слоя и др.
- Улавливаемая пыль осаждается не только на осадительных, но и на коронирующих электродах.

В настоящее время величина УЭС улавливаемой пыли определяется путем измерения омического сопротивления проб пыли, отобранных из ЭФ, и рассчитывается по формуле:

$$\rho_v = RS/\delta \text{ Ом м,}$$

где R – омическое сопротивление слоя пыли, Ом;

δ – толщина слоя пыли, м;

S – площадь измеряемого слоя пыли, мм².

Проба пыли может отбираться непосредственно из пылегазового потока на входе или выходе электрофилтра путем фильтрации с соблюдением изокINETичности, из бункеров или с осадительных электродов. Отбор пыли может производиться с помощью малогабаритного циклона или путем осаждения в электрическом поле на гребенчатые электроды в специальной камере или на гребенчатые электроды, помещаемые в вырез на осадительном электроде ЭФ [7].

Измерение электрического сопротивления отобранной пробы может производиться в специальных камерах, оснащенных подогревом и устройством изменения влажности. Слой пыли может насыпаться или наноситься с помощью электрического поля [4].

Первоначально (в 70-х годах) измерение УЭС отобранных проб пыли производилось с помощью электродов накладываемых на слой пыли с применением охранного кольца.

В дальнейшем стали применяться более совершенные устройства. Известны устройства для измерения УЭС типа игла-плоскость, рис.11.

В этих устройства пыль может отбираться одним из известных способов, затем помещаться в сосуд из материала с высокими изолирующими свойствами. Слой пыли может уплотняться. После этого подается напряжение, при котором возникает коронный разряд. Далее измеряются ток и напряжение на слое пыли и производится расчет величины УЭС слоя.

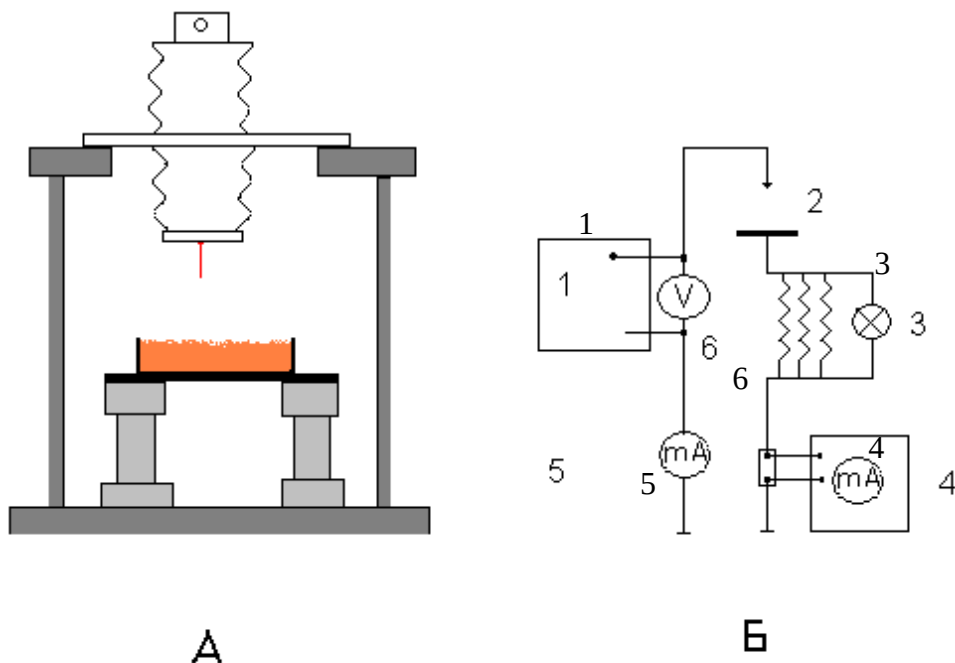


Рис.11 Устройство для измерения УЭС типа «игла — плоскость»

А – Схема камеры. Б – Принципиальная электрическая схема.

1 – Высоковольтный выпрямитель 0 – 20 кВ. 2 – Камера типа «острие – плоскость».

3 – Электрометр. 4 – Осциллограф. 5 – Миллиамперметр.

6 – Вольтметр.

Устройства с гребенчатыми электродами, специально разработанные устройства для измерения УЭС «Циклоном-1» (НИИОГАЗ), ИСП-1 (СФНИИОГАЗ) не получили широкого применения, в частности по причине их сложности. Этими приборами затруднено измерение УЭС по полям ЭФ.

Напряжение на слое пыли ($U_{\text{сл}}$) может быть приближенно измерено сравнением вольтамперных характеристик (ВАХ) при чистых и запыленных электродах, что позволяет рассчитать величину УЭС.

$$\rho_v = U_{\text{сл}}/j\delta,$$

где j - плотность тока протекающего через слой, А/м²;
 δ - толщина слоя.

Однако этот метод не нашел применения в промышленных условиях, в частности, из-за сложности определения ВАХ при отсутствии пыли на электродах.

Все эти устройства предназначались для измерения УЭС слоя пыли на осадительном электроде и в той или иной мере имитировали реальный слой пыли в ЭФ, условия его осаждения и состав газов.

В результате многочисленных экспериментов по измерению УЭС с помощью различных устройств установлено влияние на УЭС влажности, плотности слоя, температуры, дисперсности улавливаемой пыли и целого ряда других параметров, а также зависимость степени очистки газов от УЭС пыли. Эти данные используются для выбора типоразмера ЭФ, а также для подготовки газов, поступающих в ЭФ, с целью улучшения улавливаемости пыли.

В практике отечественной электрогазоочистки наиболее полные данные по УЭС пылей были получены в СФНИИОГАЗ Л.Я. Скрыбиной [15]. При определении УЭС пробы пыли отбирались из газоходов или из бункеров. В первом случае измерялось УЭС

поступающей или выходящей пыли ЭФ. Во втором случае пыль, отобранная из бункеров, смешивалась в соотношении пропорциональном количеству пыли улавливаемой полями. При этом измерялось УЭС уловленной пыли. Сам процесс измерения УЭС производился в измерительной ячейке, выполненной в виде двух соосных цилиндрических электродов, расстояние между которыми (2,5 мм) было зафиксировано с помощью изоляционной шайбы из фторопласта. Слой пыли в измерительную ячейку наносился путем свободной засыпки с последующим уплотнением с нагрузкой равной 100 Па. Измерительная ячейка помещалась в камеру, имеющую электрический подогрев. На электроды подавалось постоянное напряжение. Величина тока измерялась гальванометром. Расчет УЭС пыли производился по формуле (4).

Однако измерение УЭС пыли в лабораторных условиях не сможет дать достаточно точных результатов из-за невозможности воспроизведения условий промышленного электрофильтра (состав газов, условия осаждения пыли и формирования слоя, невозможности отбора представительной пробы и др.) Поэтому измерение УЭС непосредственно в ЭФ представляет значительный интерес и создает предпосылки для получения уточненных данных. Для измерения УЭС пыли непосредственно в электрофильтре, была использована функциональная зависимость между пылеемкостью и УЭС пыли, полученная при исследовании вторичного уноса пыли из ЭФ при встряхивании осадительных электродов [16,17,19].

Одним из факторов, затрудняющих осуществление эффективных мер по снижению влияния обратной короны, является отсутствие общепринятых методик и устройств, позволяющих получать однозначные данные о величине УЭС уловленной по полям пыли. Для измерения УЭС пыли в СФНИИОГАЗ использовалась специальная камера, устанавливаемая вне газохода. В этом устройстве пыль осаждалась на гребенчатый электрод, в поле коронного разряда специального источника. Это устройство целесообразно использовать при проведении специальных исследований влияния УЭС на различные параметры ЭФ.

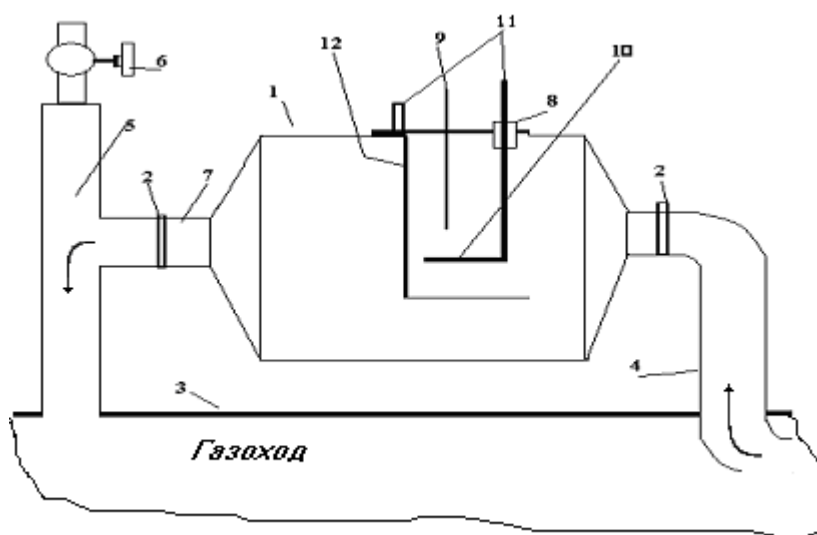


Рис. 12 Схема установки для измерения УЭС пылей в газоходе.

1 – электрообогреваемая измерительная камера; 2 – шибберные заслонки; 3 – стенка газохода; 4 – заборная трубка; 5 – эжектор; 6 – вентиль; 7 – патрубок отвода газа; 8 – изолятор; 9 – коронирующий элемент; 10 – измерительные электроды; 11 – клеммы подключения тераомметра; 12 – стойки датчика

Для определения УЭС пылей непосредственно в газоходе в СФ НИИОГАЗ был разработан способ определения удельного электрического сопротивления пыли, показанный на рис.13 [3]. Его применение позволяет получать достаточно стабильные

результаты измерений пыли в потоке газа на входе или выходе ЭФ. Однако этот метод не позволяет измерить УЭС в поле ЭФ. Он требует специального оборудования, значительных затрат времени на проведение измерений и оформление их результатов. Кроме того, слой пыли, сформированный на гребенчатых электродах, подлежащий измерению отличается от такового на осадительном электроде ЭФ.

Сущность способа заключается в измерении сопротивления слоя пыли, сформированного в электрическом поле коронного разряда в зазоре между измерительными электродами. При использовании этого способа применяется следующая аппаратура:

1. Источник высокого напряжения ВС-20-10 по ВТУ ОАА.530.001-53. Напряжение изменяется от 0 до 20 кВ, максимальный ток 10 мА. Потребляемая мощность не более 0,8 кВт. Возможно использование других источников, обеспечивающих указанные пределы напряжения и тока.
2. Тераомметр ЕК6-7 или ЕК6-14, или другой прибор с диапазоном измерения 107 – 1017 Ом.
3. Кроме указанных приборов используются: микроманометр М265, тумблер ТП1-2, провод экранированный, кабель высоковольтный, манометр, воздушный термометр, трубка резиновая.

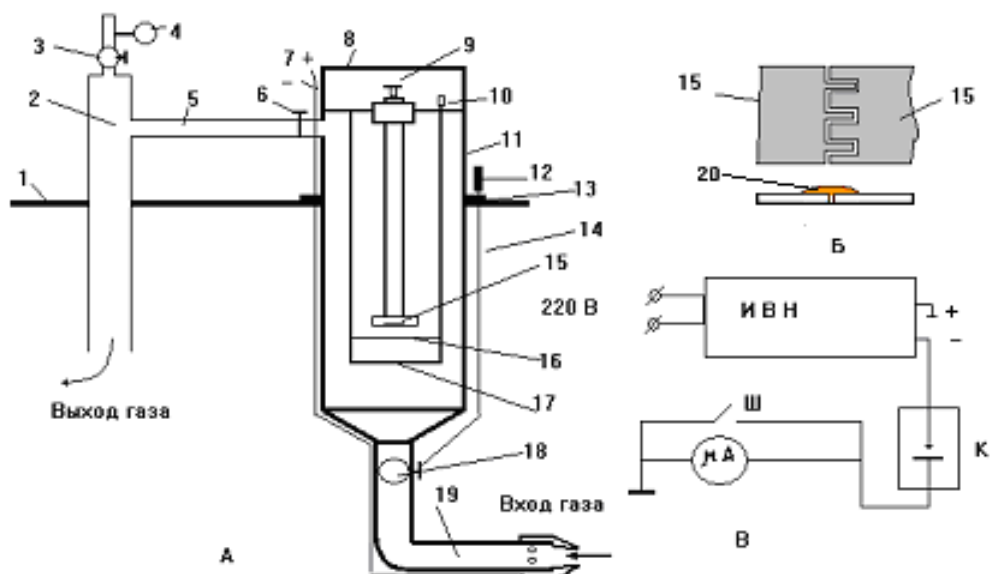


Рис. 13 Устройство для измерения удельного электрического сопротивления.

А – конструкция прибора; **Б** – схема измерительного устройства;

В – схема электрических соединений.

1 – стенка газохода; 2 – эжектор; 3 – вентиль; 4 – манометр; 5 – отводной патрубок; 6 – шиберная заслонка; 7 – импульсные трубки (к микроманометру); 8 – экран; 9 – измерительные клеммы; 10 – клемма коронирующего электрода; 11 – измерительная камера; 12 – рукоятка шиберной заслонки; 13 – фланец; 14 – тяга шиберной заслонки; 15 – измерительные электроды; 16 – коронирующий электрод; 17 – рамка коронирующего электрода; 18 – шиберная заслонка; 19 – заборная трубка; 20 – слой пыли.

ИВН – источник высокого напряжения.

К – измерительная камера; **Ш** – тумблер шунтирующий; **μА** – микроамперметр.

Для получения пробы пыли используется метод изокINETического отбора газового потока в измерительную камеру (9) с последующим осаждением аэрозоля на измерительные электроды (15) в электрическом поле коронного разряда (рис. 13). Вариант измерительной камеры, размещаемой снаружи газохода, имеет больший вес и габариты (рис.12). В этом варианте изокINETичность отбора газа соблюдается при равенстве нулю разности статических напоров, измеренных соответственно внутри канала заборной трубки и в газоходе.

Отсос газа может осуществляться любым побудительным устройством, обеспечивающим требуемую производительность. Для обеспечения сходимости измерений толщина слоя на электродах должна составлять 1-3 мм, для чего время отбора пыли должна составлять 10-30 мин. (уточняется при проведении предварительного опыта). После монтажа измерительной камеры на газоходе ее прогревают вместе с измерительными электродами в течение 30 мин.

Далее производится осаждение пыли на измерительные электроды и измерение сопротивления осажденной пыли тераомметром.

При работе с устройством необходимо соблюдение правил техники безопасности, изложенных в РТМ 26-14-07-77.

Удельное электрическое сопротивление пыли (ρ , Ом·м) вычисляется по формуле:

$$\rho = R \frac{S}{b},$$

где R – измеренное сопротивление пыли, Ом;
 S – площадь сечения активной части измерительных электродов, м²;
 b – величина зазора между измерительными электродами, м. Конструкция измерительных электродов обеспечивает величину $\frac{S}{b} = 0,05$, тогда $\rho = 0,05R$, Ом · м.

Для определения УЭС пыли проводят десять опытов. Далее определяют среднее арифметическое значение ρ_{cp} . Среднее квадратичное отклонение ρ_i от среднего значения σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\rho_i - \rho_{cp})^2}$$

где ρ_i – результаты измерений; n – количество измерений.

Результаты измерений, отклоняющиеся от среднего арифметического значения на величину большую 3σ , отбрасывают.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение оставшихся измерений.

Измерение удельного электрического сопротивления золы подмосковного угля проводилось на входе в электрофильтры блока №4 Черепетской ГРЭС. При замере были получены результаты, приведенные в табл.3.

Таблица 3.
Пример вычисления результатов измерений

Номер опыта	Температура газа, °С	Измеренное сопротивление, (R) Ом	Удельное электрическое сопротивление, (ρ) Ом·м
1	160	$4,0 \cdot 10^{11}$	$2,0 \cdot 10^{10}$
2	160	$3,6 \cdot 10^{11}$	$1,8 \cdot 10^{10}$
3	160	$4,8 \cdot 10^{11}$	$2,4 \cdot 10^{10}$
4	160	$4,2 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{10}$
5	160	$3,8 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{10}$
6	160	$4,4 \cdot 10^{11}$	$2,2 \cdot 10^{10}$
7	160	$4,0 \cdot 10^{11}$	$2,0 \cdot 10^{10}$
8	160	$3,8 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{10}$
9	160	$4,2 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{10}$
10	160	$3,8 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{10}$

$$\rho_{cp} = 2,03 \cdot 10^{10} \text{ Ом·м}; \sigma = 0,168 \cdot 10^{10} \text{ Ом·м.}$$

Результаты измерений не выходят за пределы:

$$\rho_{cp} \pm 3 \sigma, \text{ т.е. } 2,53 \cdot 10^{10} \geq \rho \geq 1,53 \cdot 10^{10}.$$

Окончательно принимаем величину удельного электрического сопротивления золы

$$\rho = 2,0 \cdot 10^{10}$$

Однако этот метод не позволяет измерить УЭС в поле ЭФ. Он требует специального оборудования, значительных затрат времени на проведение измерений и оформление их результатов. Кроме того, сформированный на гребенчатом электроде слой пыли, подлежащий измерению отличается от такового на осадительном электроде ЭФ.

Таким образом, устройства измерения УЭС, применяемые ранее, имеют существенные недостатки:

- искусственное формирование слоя пыли, УЭС которого измеряется, что не позволяет создать структуру слоя, существующую в ЭФ;
- измерение УЭС производилось только применительно к осадительным электродам или независимо от электродов (при отборе пыли из бункера или из газохода) Слои пыли на коронирующем электроде (коронирующих его участках) не учитывались; пыль, осажденная на коронирующих участках, имеет другую структуру, отличающуюся от пыли на осадительном электроде;
- отсутствие привязки данных измерения к конкретному полю ЭФ; (УЭС на различных полях одного электрофилтра может отличаться на величину до двух порядков);
- отсутствие учета влияния неотряхиваемого слоя пыли, всегда имеющегося на осадительных электродах и на коронирующих участках коронирующих элементов.

Наличие этих недостатков, а также применение различных методов и устройств измерения УЭС, затрудняет получение однозначных данных, необходимых для конструирования, проектирования установок электрогазоочистки и эксплуатации ЭФ.

10. Пылеемкость электродов электрофилтра

В связи с тем, что известные устройства для измерения УЭС пыли в лабораторных условиях имеют существенные недостатки, представляется целесообразным производить измерение непосредственно в ЭФ.

Для измерения УЭС пыли непосредственно в ЭФ возможно, также использование приведенных ниже экспериментальных зависимостей оптимальной пылеемкости осадительных (m_0) и коронирующих (μ_0) электродов электрофильтров от величины удельного электрического сопротивления слоя пыли (ρ_v). Эти зависимости, полученные для 13 электрофильтров в различных отраслях промышленности, имеют вид, приведенный в таблицах 4,5 и на рис. 14. В результате экспериментов на промышленных электрофильтрах была установлена функциональная связь между пылеемкостью электродов [19] и УЭС улавливаемой в ЭФ пыли.

Зависимость оптимальной пылеемкости осадительных электродов от УЭС пыли для нескольких предприятий имеет следующий вид:

Таблица 4

Зависимость оптимальной пылеемкости осадительных электродов от УЭС.

№ п/п	Наименование предприятия	Тип улавливаемой пыли	Пылеемкость, m_0 , кг/м ²	УЭС, Ом м
1	Берёзовская ГРЭС	Зола Берёзовского месторождения	1,38	$10^6 - 10^7$
2	Прибалтийская ГРЭС	Зола эстонского сланца	1,31	$6 \cdot 10^8$
3	Назаровская ГРЭС	Зола Назаровского месторождения	1,04	10^9
4	Чрепетская ГРЭС	Зола Кузнецкого угля Тр+Аш	0,75	$10^9 - 10^{10}$
5	Черепетская ГРЭС	Зола Донецкого угля Тр+Аш	0,5	$2 \cdot 10^{10}$
6	Завод «Магнезит»	Магнезит	0,38	10^{11}
7	Рефтинская ГРЭС	Зола экибастузского угля	0,17	10^{12}
8	Сланцевский цем. з-д, сухой способ производства	Зола экибастузского угля	0,15	10^{12}

Таблица 5

Зависимость оптимальной пылеемкости коронирующих электродов от УЭС пыли для нескольких предприятий

№ п/п	Наименование предприятия	Тип улавливаемой пыли	Пылеемкость, μ_0 , кг/м	УЭС, Ом м
1	Ярославский завод тех. углерода	Технический углерод	1,6	$10^2 - 10^3$
2	Спасский цементный завод (сушильный барабан)	Полуобожжённый клинкер	8,1	10^7
3	Косогорский металлургический завод (цементная печь)	Клинкер	11,7	10^8
4	Троицкая ГРЭС	Зола экибастузского угля	68	10^{11}
5	Сланцевский цем. з-д	Клинкер	81,5	10^{12}

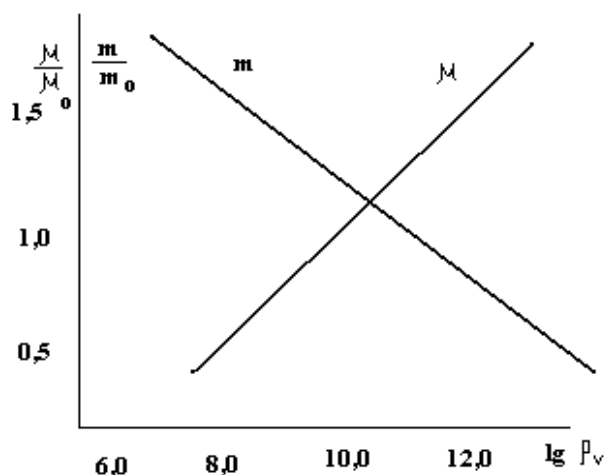


Рис. 14 Зависимость относительной оптимальной пылеемкости осадительных (m/m_0) и коронирующих (μ/μ_0) электродов электрофильтра от логарифма удельного электрического сопротивления пыли.

Зная величины параметров m_0 и μ_0 по графикам рис. 14 можно определить величину УЭС пыли любого поля.

Уточнение величины пылеемкости осадительных электродов по полям при неизвестном значении УЭС целесообразно производить с использованием пылемеров на входе и выходе электрофильтра. Для этого достаточно измерить степень очистки газов электрофильтром при величинах пылеемкости поля $m = m_0 \pm 5...15\%$ для каждого поля (практически, учитывая, что величина пылеемкости пропорциональна интервалу встряхивания, достаточно изменить величину интервала встряхивания также на 5...15%). Максимальная величина степени очистки газов будет соответствовать оптимальной пылеемкости осадительных электродов поля; по ней и определяется уточненное значение УЭС с использованием графика рис. 14.

В другом способе определения УЭС может быть использовано измерение величины μ_0 . Этот способ менее трудоемок – достаточно определить оптимальную пылеемкость коронирующих электродов в диапазоне 5..15% от ее величины, установленной при расчете, или полученной из справочных материалов.

10.1 Методика измерения УЭС по величине пылеемкости электродов.

В связи с тем, что измерение УЭС пыли ЭФ проводимое в лабораторных условиях имеет существенные недостатки в практике электрогазоочистки разрабатываются способы измерения УЭС непосредственно на осадительных электродах ЭФ.

В СФНИИОГАЗ в 1987г. [23] было испытано в лабораторных и промышленных условиях устройство для измерения УЭС непосредственно на осадительном электроде в поле ЭФ. В этом устройстве гребенчатый электрод вставлялся в вырез на осадительном электроде. Осаждение пыли и формирование слоя происходило в электрическом поле и газовой среде ЭФ. Однако монтаж этого устройства требует изготовления большого количества отверстий в корпусе ЭФ. Кроме того, условия измерения УЭС пыли на гребенчатом электроде отличается от измерения УЭС на плоскости осадительного электрода. Эти недостатки затрудняют реализацию данного способа.

Измерение УЭС по вольтамперным характеристикам, как упоминалось выше, также не нашло применения.

Для измерения УЭС, с использованием параметра пылеемкость коронирующих электродов μ_0 , при оптимальном периодическом встряхивании электродов предыдущих полей, путем непрерывного измерения тока короны исследуемого поля определяют время, за которое наступит начало снижения тока короны или увеличения напряжения. При этом следует иметь в виду, что для пылей, имеющих малое УЭС, этот период составляет несколько минут, а для высокоомных пылей может составлять на последних полях несколько часов. Встряхивание осадительных электродов производится в штатном режиме. Данный эксперимент необходимо повторить не менее 3-х раз, включая после каждого опыта непрерывное встряхивание электродов исследуемого поля. Полученные результаты – усреднить.

Зависимость изменения тока короны от времени при отключенном встряхивании коронирующих электродов имеет вид, приведенный на рис. 15.

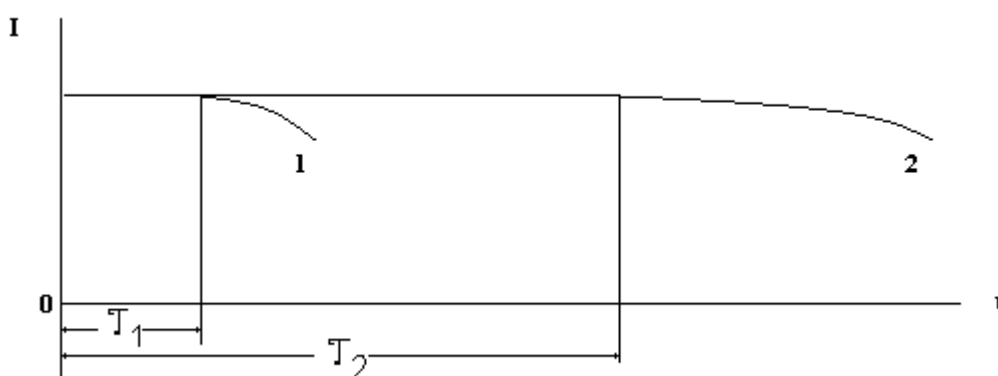


Рис. 15 Типичная зависимость тока короны от времени запылнения коронирующих электродов при отключении встряхивания коронирующих электродов.

- 1 – для электрофилтра, улавливающего низкоомную пыль;
- 2 – для электрофилтра, улавливающего высокоомную пыль.

На основании полученной величины оптимального интервала встряхивания коронирующих электродов рассчитывается величина УЭС по формуле:

$$\rho_v = 10^{(5,9+k \cdot \tau_k)}, \quad (5)$$

где k – коэффициент, зависящий от параметров электрофилтра;
 τ_k – интервал встряхивания коронирующих электродов.

На основании экспериментов, выполненных в различных отраслях промышленности, была установлена зависимость между оптимальным количеством пыли на электродах перед их встряхиванием (оптимальной пылеемкостью) коронирующих (μ_0 кг/м) и осадительных (m_0 кг/м³) от УЭС пыли. [15, 16, 17, 18]

Экспериментальные зависимости пылеемкости от УЭС пыли, имеют вид:

$$\mu_0 = 13 \lg \rho_v - 77; \quad (6)$$

$$m_0 = 3,14 - 0,25 \lg \rho_v; \quad (7)$$

где ρ_v – удельное электрическое сопротивление слоя (УЭС) ($10^{12} \geq \rho_v \geq 10^6$).

Из формул (6) и (7) следует, что $m_0 = 1,66 - 0,0192 \mu_0$

Эта зависимость изображена на Рис.16, из которого видно, что максимальному значению пылеемкости осадительных электродов m_0 соответствует минимальное значение пылеемкости коронирующих электродов μ_0 и наоборот.

Для поддержания ЭФ в работоспособном состоянии необходимо обеспечение достаточной чистоты коронирующих элементов, что обеспечивается путем отряхивания осевшей на них пыли. Длительное время считалось, что для успешной работы любого ЭФ необходимо поддерживать максимально-возможную чистоту поверхности коронирующих электродов, а для этого коронирующие электроды необходимо отряхивать при непрерывной работе механизма встряхивания – один удар бойка примерно за 3 ...5 минут [20]. Однако, это может приводить к чрезмерному износу механизмов встряхивания и снижению степени очистки газов. До настоящего времени при эксплуатации ЭФ периодическому встряхиванию коронирующих электродов нередко не уделяется должного внимания.

В результате исследований [18,19] установлена целесообразность периодического встряхивания коронирующих электродов, причем оптимальный интервал между моментами встряхивания зависит от УЭС пыли.

Так, например, при улавливании золы экибастузского угля оптимальный интервал встряхивания коронирующих электродов последнего поля может составлять несколько часов.

Оптимальная пылеемкость электродов - количество пыли на электродах перед их встряхиванием, отряхивание которого позволяет обеспечить наименьшие выбросы пыли из электрофильтра.

Пылеемкость осадительных электродов измеряется в единицах массы пыли на 1м² поверхности осадительных электродов, а пылеемкость коронирующих в единицах массы на погонный метр коронирующих электродов.

Знание величины УЭС позволяет рассчитывать оптимальные режимы встряхивания электродов. Возможно решение и обратной задачи — определение УЭС по известной величине оптимального интервала встряхивания. Экспериментальное нахождение оптимального интервала встряхивания осадительных электродов без знания УЭС, как это делалось ранее, — трудоемкая задача, заключающаяся в проведении пылегазовых измерений на целом ряде режимов встряхивания осадительных электродов. Эта задача остается весьма трудоемкой, даже если электрофильтр оснащен автоматическими пылемерами входной и выходной запыленности. Кроме того, при изменении технологических условий необходимо каждый раз повторять измерения для уточнения режимов регенерации электродов.

Достаточно просто величина УЭС может быть определена на основании нахождения оптимального интервала встряхивания коронирующих электродов.

Исследования, выполненные в холдинге «КОНДОР-ЭКО СФ НИИОГАЗ» показали, что величина УЭС пыли по полям ЭФ может существенно (до двух порядков) отличаться.

Учет величины УЭС для каждого поля ЭФ позволяет уточнить режимы встряхивания осадительных и коронирующих электродов, режимы пылеудаления и, что наиболее важно, - режимы питания ЭФ по полям, что в комплексе позволяет существенно снизить выбросы из ЭФ.

На основании экспериментов, выполненных в различных отраслях промышленности, была установлена зависимость между оптимальным количеством пыли на электродах и УЭС слоя пыли. При низком значении УЭС падение напряжения в слое на осадительном электроде мало. Изменение количества пыли в диапазоне 1,2...0,8 кг/м² не оказывает существенного негативного влияния на электрический режим.

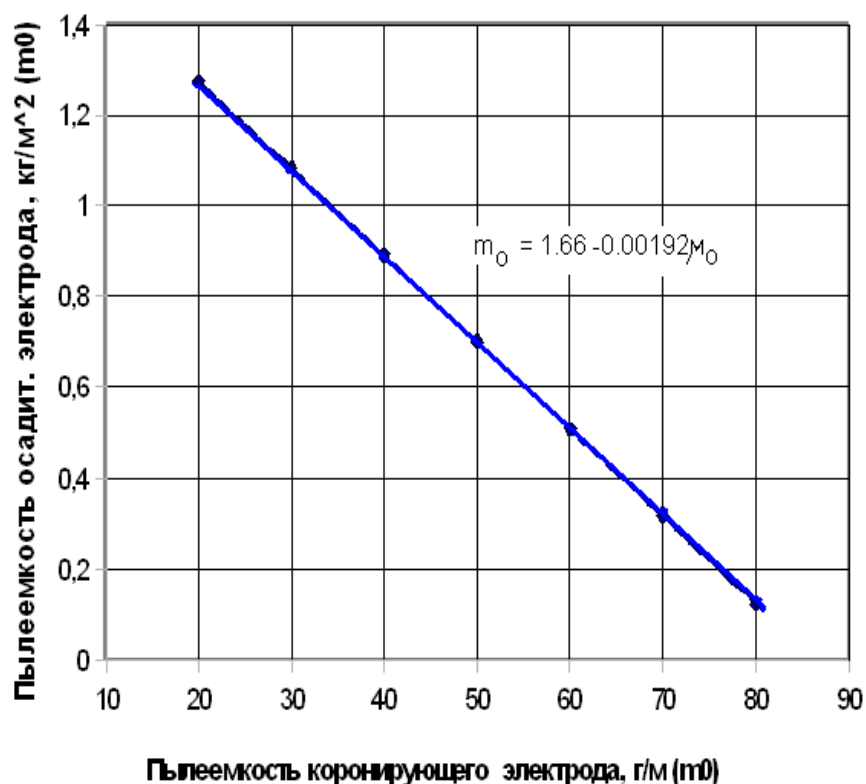


Рис.16 Соотношение между оптимальными пылеемкостями осадительных (m_0) и коронирующих (μ_0) электродов.

Отряхивание более толстых слоёв пыли способствует меньшему уносу пыли при встряхивании.

Низкоомная пыль при осаждении на коронирующих участках увеличивает их радиус кривизны и приводит к уменьшению тока короны. В этом случае для поддержания эффективного пылеулавливания необходим минимальный слой пыли на коронирующих участках.

При улавливании высокоомной пыли в слое на осадительном электроде образуется обратная корона. Уменьшение толщины слоя способствует снижению обратной короны, но приводит к увеличению уноса пыли при встряхивании. Оптимальная величина пылеемкости коронирующих и осадительных электродов, являющаяся функцией УЭС, была определена экспериментально.

В экспериментах с покрытием коронирующего провода изолирующей трубкой при включении высокого напряжения первоначально ток короны имеет малое значение. Но он довольно быстро увеличивается, что можно объяснить электрическим пробоем изолирующей трубки. Аналогичный процесс пробоя высокоомного слоя имеет место при осаждении пыли на концах коронирующих игл, где напряженность электрического поля максимальна.

В связи с пробоем слоя пыли на коронирующих участках коронирующих элементов величина μ_0 и интервал встряхивания при улавливании высокоомной пыли имеют большее значение.

Связь оптимальных интервалов встряхивания осадительных и коронирующих электродов с УЭС пыли) позволяет производить определение УЭС при известном оптимальном интервале встряхивания. Экспериментальное определение периодичности встряхивания осадительных электродов (как это делалось до 1974г. [20]) трудоёмкая операция, требующая около месяца работы бригады по пылегазовым измерениям. Однако определение оптимального встряхивания коронирующих электродов может быть

выполнено во-первых без существенных трудозатрат и во-вторых для каждого поля электрофильтра в отдельности с использованием формул (8),(9) :

$$\mu_0 = \frac{\tau_k Q z_n \eta_n}{1,67 L_k} ; \quad (8)$$

$$\rho_v = 10^{5,9+0,077\mu_0} ; \quad (9)$$

где τ_k – промежуток времени, за который происходит при отключении встряхивания фиксируемое приборами снижение тока короны или подъём напряжения поля, УЭС которого измеряется.
 Q – объём очищаемых газов;
 z_n – запыленность газов на входе в поле;
 η_n – степень очистки газов полем электрофильтра;
 L_k – суммарная длина коронирующих элементов поля.

Таким образом, определение УЭС в электрофильтре будет сведено к измерениям периода начала снижения тока короны и вычислению его по формулам (8) и (9). При этом способе автоматически учитываются интегральные свойства пыли и газа, имеющие место в электрофильтре на исследуемом поле (температура, давление, влажность, состав газов, упаковка слоя пыли, электрический режим и др.). Это создает предпосылки для более точного определения величины УЭС слоя пыли, режимов питания полей и режимов встряхивания электродов. В результате создаются предпосылки для повышения степени очистки газов электрофильтров без существенных трудозатрат.

10.2 Пример определение величины УЭС и расчет уточнённой величины интервалов встряхивания осадительных электродов.

Рассмотрим в качестве примера определение величины УЭС по времени начала затухания тока короны по полям электрофильтра при отключении встряхивания коронирующих электродов.

Исходные данные:

Тип ЭФ – УГЗ-З-177

Длина коронирующих электродов ЭФ, $L_k = 49000$ м;

Длина коронирующих электродов одного поля $L_{кп} = 16333$ м;

Площадь осаждения ЭФ 18500 м²;

Площадь осаждения одного поля 6167 м²;

Объём очищаемых газов $Q = 313$ м³/с;

Степень очистки газов ЭФ, $\eta = 0,98$;

Степень очистки газов полем ЭФ, $\eta_n = 1 - \sqrt[n]{1 - \eta}$; $\eta_n = 0,728$

Соотношение интервалов встряхивания, $C_{и.в.} = (1 - \eta)^{\frac{1-n}{N}} = 1; 3,7; 13,6$

Входная запыленность по полям:

$$Z_{вх1} = 20 \text{ г/м}^3; Z_{вх2} = 5,4 \text{ г/м}^3; Z_{вх3} = 1,5 \text{ г/м}^3$$

Принятые при эксплуатации ЭФ интервалы встряхивания осадительных электродов 12; 45; 170 мин.

Экспериментально установленное начало времени затухания тока короны по полям при отключении встряхивания коронирующих электродов:

$$\tau_1 = 21 \text{ мин}; \tau_2 = 89 \text{ мин}; \tau_3 = 390 \text{ мин.}$$

Расчет оптимальной величины пылеемкости коронирующих электродов по полям по формуле (4), величины УЭС по формуле (5):

$$\mu_{01} = 35; \mu_{02} = 40; \mu_{03} = 48, \\ \rho_{v1} = 0,4 \cdot 10^9; \rho_{v2} = 10^9; \rho_{v3} = 7 \cdot 10^9.$$

По формуле (2) находим:

$$m_{01} = 0,99; m_{02} = 0,89; m_{03} = 0,68.$$

Рассчитаем оптимальную величину интервалов встряхивания осадительных электродов для уточненного значения УЭС

$$\tau_1 = 16,7 \cdot S_{\Pi} \cdot m_0 / Q \cdot Z \cdot \eta_{\Pi} = 16,7 \cdot 6167 \cdot 0,92 / 313 \cdot 20 \cdot 0,728 = 22 \text{ мин}$$

$$\tau_1 = 22 \text{ мин}; \tau_2 = 85 \text{ мин}; \tau_3 = 290 \text{ мин}.$$

Соотношение интервалов встряхивания осадительных электродов последнего поля учетом уточненной величины УЭС составит $290/170 = 1,7$ раз. Принимая унос при встряхивании равным половине общего проскока получаем снижение выбросов пыли на 20 % только за счет оптимизации встряхивания на последнем поле ЭФ.

Очевидно, что дополнительное снижение выбросов произойдет за счет оптимизации встряхивания коронирующих электродов и уточнения настройки высоковольтных агрегатов питания.

Таким образом, для уточнения величины УЭС по полям и проведения мероприятий по повышению степени очистки газов электрофильтром следует:

1. На предприятии, эксплуатирующем ЭФ, определить время до начала затухания тока короны по полям ЭФ при отключенном встряхивании коронирующих электродов при штатном режиме встряхивания осадительных электродов (предварительно с коронирующих электродов должна быть удалена встряхиванием в штатном режиме осевшая пыль).
2. Рассчитать оптимальную пылеемкость коронирующих электродов для каждого поля.
3. Рассчитать УЭС пыли для каждого поля.
4. Определить оптимальную пылеемкость осадительных электродов.
5. Установить расчетные оптимальные режимы встряхивания осадительных и коронирующих электродов.
6. Произвести настройку агрегатов питания по полям в соответствии с УЭС пыли.
7. Произвести измерения входной и выходной запыленности газов и определить величину повышения степени очистки газов ЭФ.

Измерение УЭС по величине пылеемкости коронирующих электродов

Оптимальная величина пылеемкости коронирующих электродов рассчитывается по УЭС, по формуле (6):

$$\mu_0 = 13 \cdot \lg \cdot \rho_v - 77$$

при $10^{12} > \rho_v > 10^6$ Ом·м, а величина УЭС обычно определяется на основании лабораторных измерений образцов пыли, отобранных с электродов соответствующего поля или по справочным данным. В том и другом случае величина УЭС является ориентировочной по вышеуказанным причинам. Представляет практический интерес определение величины УЭС по полям электрофильтра с использованием пылеемкости коронирующих электродов.

Для определения УЭС в этом случае, при оптимальном периодическом встряхивании электродов предыдущих полей, путем непрерывного измерения тока короны исследуемого поля определяют время, за которое наступит начало снижения тока короны или увеличения напряжения. При этом следует иметь в виду, что для пылей,

имеющих малое УЭС, этот период составляет несколько минут, а для высокоомных пылей может составлять на последних полях несколько часов.

Встряхивание осадительных электродов производится в штатном режиме. Данный эксперимент необходимо повторить не менее 3-х раз, включая после каждого опыта непрерывное встряхивание электродов исследуемого поля. Полученные результаты – усреднить. Зависимость тока короны от времени при отключенном встряхивании имеет вид, приведенный на рис. 15.

Таким образом, определение УЭС в электрофилтре будет сведено к простейшим измерениям и несложным вычислениям. Кроме простоты измерения данный способ позволяет находить значение УЭС слоя пыли по полям. При этом способе автоматически учитываются интегральные свойства пыли и газа, имеющие место в электрофилтре на исследуемом поле (температура, давление, влажность, состав газов, упаковка слоя пыли, электрический режим и др.). Это создает предпосылки для более точного определения величины УЭС слоя пыли, выбора способа питания ЭФ, режимов питания полей и встряхивания электродов, а также предпосылки для уточненного выбора типоразмера электрофилтра при проектировании новых установок электрогазоочистки.

Заключение

1. Электрическое сопротивление улавливаемой в электрофильтре пыли является одним из важнейших факторов, определяющих степень очистки газов.
2. Скорость дрейфа пылевых частиц промышленных ЭФ может изменяться в зависимости от удельного электрического сопротивления пыли от 2..3-х до 12...15 см/с и более.
3. Современные методы определения УЭС, использующие отбор точечных проб пыли и измерения в лабораторных условиях обладают существенными недостатками.
4. Предложенный способ измерения УЭС пыли непосредственно в ЭФ, позволяет учитывать реальные условия и получать уточненные значения УЭС пыли по полям ЭФ.
5. Уточненное значение УЭС позволит точнее выбирать параметры импульсного и знакопеременного питания по полям электрофильтра и дополнительно обеспечить:
 - экономию электроэнергии;
 - коррекцию возникновения обратной короны и снижение её интенсивности;
 - повышение степени очистки газов.
6. Использование данных УЭС, полученных предлагаемым способом позволяет повысить степень очистки газов электрофильтров за счёт уточнения режимов встряхивания осадительных и коронирующих электродов по полям.
7. Измерения УЭС пыли выполняемые предлагаемым способом могут выполняться персоналом, обслуживающим ЭФ.

Методика измерения удельного электрического сопротивления (УЭС) пыли в электрофильтрах

Одним из основных технологических параметров, определяющих степень очистки газов электрофильтрами (ЭФ), является удельное электрическое сопротивление (УЭС) улавливаемой пыли.

В настоящее время величина УЭС улавливаемой пыли определяется путем измерения омического сопротивления проб пыли, отобранных из ЭФ. Этот способ имеет существенные недостатки — сложность отбора представительных проб и создания соответствующих технологических условий при измерении, необходимость наличия лабораторного оборудования.

Измерения УЭС пыли, выполняемые предлагаемым ниже методом позволяют получить уточненные данные в том числе для каждого поля отдельно с учетом всех технологических условий, существующих в исследуемом поле электрофильтра (температура, влажность, состав газов, запыленность , дисперсный состав, напряженность электрического поля , свойства неотряхиваемого подслоя, общая характеристика всего слоя пыли исследуемого поля и др.)

Очередность операций при измерении УЭС пыли по данному методу следующая:

1. Выбрать характерные технологические режимы работы технологического оборудования и электрофильтра.
2. Произвести штатное встряхивание коронирующих электродов первого поля.
3. Отключить встряхивание коронирующих электродов первого поля (сразу после цикла штатного встряхивания) и зафиксировать время, по истечении которого удастся обнаружить по прибору начало снижения тока короны или подъема напряжения первого поля.
4. Повторить п.3 три- четыре раза. Записать время до начала затухания тока или снижения напряжения (то, что наступит раньше) .
5. Произвести аналогичные измерения (пп.1-4) для последующих полей.
6. Результаты измерений представить, например, в форме следующей таблицы.
7. Дополнительно зафиксировать типоразмер ЭФ, степень очистки газов. Объем очищаемых газов, запыленность на входе в электрофильтр.

Полученные данные передать в технический отдел «Кондор - Эко» для выполнения расчетов.

№№ полей	Время до начала затухания тока короны, или подъема напряжения, мин,
1 поле	t ₁ ; t ₂ ; t ₃
2 поле	t ₄ ; t ₅ ; t ₆
3 поле	t ₇ ; t ₈ ; t ₉

Предлагаемая методика применима для ТЭС, ГРЭС, цементных заводов, металлургических предприятий и практически для любых предприятий, эксплуатирующих ЭФ.

Список использованных источников

1. Ужов В.Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами. М. «Химия» 1967. 343с.
2. Левитов В.И. Дымовые электрофильтры. М.: Энергия. 1980.- 448с.
3. 3. Алиев Г.М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. М.: Metallurgy. 1986.- 544с.
4. Страус В. Промышленная очистка газов. Перевод Ю.Я. Косого. М.; Химия, 1981.- 616с.
5. Верещагин.И.П., Левитов В.И., Мирзабекян Г.З.,Пашин М.М. Основы электрогазодинамики дисперсных систем. М.:Энергия.1974.480 с.
6. Чекалов Л.В. Научные основы создания электрогазоочистного оборудования нового поколения. Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук. М.МЭИ, 2007.
7. Санаев Ю.И. Обеспыливание газов электрофильтрами. Семибратово.ЗАО «Кондор-Эко» 2009. 160 с.
8. Санаев Ю.И. Определение удельного электрического сопротивления пыли непосредственно в электрофильтре.// Химическое и нефтегазовое машиностроение. №9. 2011. С.35-37.
9. Гурвиц А.А. Справочник по пылеулавливанию. М.Химия.1989. 320с.
10. Уоткинс Э., Дарби К.Применение электростатического осаждения пыли в чёрной металлургии. «Металлургия».1968.С 57-70,
11. Биргер М. И, Вальдберг А.Ю.,Мягков Б.И.под. общей ред. А.А.Русанова.-2-е изд. Перераб. и дополн. -М.: Энергоатомиздат, 1983.-312с.
12. Guosheng XU, Libo XU/ Five Electrostatic Precipitator and Aplication, 11th International Conferense on Electrostatic Precipitator
13. Веремьёв К.А. О ёмкости электрофильтра. Труды НИПИОТСТРОМ. 1971. С.9-11.
14. Мирзабекян Г.З., Руденко В.М., Шеваленко И.С. Исследование режима питания электрофильтра, обеспечивающего отсутствие обратного коронного разряда//Электронная обработка материалов.АН Молдавской ССР,1978, №2.С.10-15.
15. Скрыбина Л.Я. Атлас промышленных пылей. ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, Серия ХМ-14. 1980.
16. Санаев Ю.И.Экспериментальное исследование уноса пыли в электрофильтрах и разработка методов его снижения. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. М.,НИИЦЕМЕНТ, 1978.].
17. Чекалов Л.В., Санаев Ю.И. Реконструкция электрофильтров на Омской ТЭЦ-5 и выбор межэлектродного расстояния в электрофильтрах // Электрические станции №1.- С.19-23.
18. Санаев Ю.И. Повышение эффективности электрофильтров при улавливании высокоомной пыли. //Химическое и нефтегазовое машиностроение . №9.2005.С 38-39.
19. Санаев Ю.И. Определение удельного электрического сопротивления пыли непосредственно в электрофильтре. // Химическое и нефтегазовое машиностроение №9. 2011.
20. Бабий В. И., Залогин Н.Г., Кропп Л.И., Кострикин Ю.М. Энергетика и охрана окружающей среды. Энергия, 1979. с 351.
21. Sanaev Y.I. Improved Electrical Filter Perfomanse in Trapping High-Risistans Dust // Chemical and petroleum engineering. Volume 41, Number 910, September. New York. 2005.

22. Романов А.П., Чекалов Л.В., Чуприков В.К. Способ определения удельного электрического сопротивления частиц на электродах электрофильтра. SU1263347. 1986 г.
23. Кизим И.А., Решидов И.К., Санаев Ю.И. Устройство для измерения удельного электрического сопротивления слоя пыли. SU369513. 1987 г.