МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ
Проректор Т.Ю. Гатева
«2» 11 2026 г.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Высоковольтные электротехнологические процессы и аппараты» для студентов направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Курск 2026

2

УДК 621.3.031

Составитель Н.М. Гайдаш

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент *Н.И. Иванов*

Высоковольтные электротехнологические процессы и аппараты: методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Высоковольтные электротехнологические процессы и аппараты» для студентов направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Н.М. Гайдаш. - Курск, 2026. 19 с.: ил. 3. - Библиогр.: с. 19.

Содержат рекомендации для подготовки к практическим занятиям по расчету электрических параметров различных электротехнологических процессов и установок, их устройству, принципу работы и области применения.

Могут быть использованы при подготовке к зачету по дисциплине «Высоковольтные электротехнологические процессы и аппараты».

Предназначены для студентов электротехнических направлений подготовки и специальностей.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 2.11 Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,0 . Уч.-изд.л. 0,9 . Тираж 30 экз. Заказ 936. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

1 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ (ИТП)

Перед изучением данной темы необходимо повторить по учебной литературе принцип действия, конструкцию и область применения основных установок индукционного нагрева, а также физико-химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов, сплавов и диэлектрических материалов.

Необходимо выписать и усвоить основные законы постоянного тока: Ома, Кирхгофа, Джоуля-Ленца и другие.

Для проведения электрического расчета ИТП в качестве исходных данных необходимо знать:

- наименование расплавляемого металла или марку сплава и его состав;
- конфигурацию и характерные размеры кусков шихты;
- исходную температуру загружаемой шихты, для ферромагнитных материалов – температуру точки Кюри, температуру плавления и температуру разливки;
- удельные электросопротивления шихты для вышеуказанных температур;
- теплосодержание или энтальпию, теплоемкость и скрытую теплоту плавления металла или сплава для вышеуказанных температур;
- емкость тигля;
- производительность печи;
- длительность процесса плавки;
- длительность вспомогательных операций;
- параметры питающей сети.

1.1. Расчет мощности индукционной тигельной печи

Полезная мощность ИТП определяется по формуле:

$$P_{пол} = QG/(3{,}6T_{пл}), \text{ Вт} \qquad (1.1)$$

где q – теплосодержание расплавляемого металла или сплава при температуре разливки, Дж/кг;

G – емкость печи, т

$t_{пл}$ – время плавки, ч.

Если известна энтальпия металла или сплава при температуре разливки, то полезная мощность ИТП определяется по выражению:

$$P_{пол} = c_p G/(t_{пл}), \text{ кВт} \quad (1.2)$$

где c_p – энтальпия расплавляемого металла или сплава при температуре разливки, кВт·ч/кг;

G – емкость печи, кг

$t_{пл}$ – время плавки, ч.

Суммарные тепловые потери ΔP_m составляют *5−35*% полезной мощности печи $P_{пол}$, причем меньшая цифра относится к печам большей емкости. Термический КПД (η_m) индукционной тигельной печи составляет 75-95% и определяется по выражению:

$$\eta_m = P_{пол} /(P_{пол} + \Delta P_m). \quad (1.3)$$

Активная мощность P_2, передаваемая в загрузку (садку) ИТП определяется по выражению

$$P_2 = P_{пол} + \Delta P_m \text{ , Вт.} \quad (1.4)$$

Активная мощность P_n ИТП ориентировочно определяется по выражению:

$$P_n = P2/\eta_э \text{ ,Вт,} \quad (1.5)$$

где $\eta_э$ – электрический КПД индуктора ИТП. Значение $\eta_э$ может составлять 70-95%. Это значение тем выше, чем больше удельное сопротивление расплавляемого металла. По данным /6/, при плавке алюминия $\eta_э$ = 0,5 – 0,6 , при плавке чугуна и стали $\eta_э$ = 0,7 – 0,85

Мощность источника питания $P_{ист}$ должна быть немного больше (на 5 – 10%) активной мощности P_n . Это связано с тем, что источник питания должен покрывать потери $\Delta P_{т.к}$ в токоподводе и в конденсаторах.

Мощность источника питания определяется выражением

$$P_{ист} = P_n + \Delta P_{т.к.} \quad (1.6)$$

После определения ориентировочной мощности печи и выбора частоты тока следует подбор источника питания.

Пример 1

Рассчитать мощность источника питания индукционной тигельной печи емкостью G = 6 т.

Печь предназначена для плавки стали, имеющей следующие характеристики:

- температура разливки $t_к$ =1600°С;
- плотность при температуре разливки γ =7200 кг/м^3;
- теплосодержание при температуре разливки q=1,42·10^6 Дж/кг /7/;
- энтальпия при температуре разливки $c_р$ = 0,385 кВт·ч/кг /6/;
- удельное сопротивление стали в холодном состоянии $\rho_х$=0,2·10^{-6} Ом·м;
- удельное сопротивление стали при температуре потери магнитных свойств $\rho_{\underline{ш}}$=1·10^{-6} Ом·м;
- удельное сопротивление стали перед сплавлением кусков шихты $\rho'_ш$=1,2·10^{-6} Ом·м;
- удельное сопротивление стали при температуре разливки ρ_2=1,37·10^{-6} Ом·м;

Плавка стали производится без рафинирования, режим работы – на твердой завалке. Время плавки $t_{пл}$ = 1,5 ч. Средний диаметр кусков шихты $d_ш$ = 0,08 м.

1. Определим полезную мощность ИТП по формуле (1.1)

$$P_{пол} = qG/(3,6t_{пл})= 1,42\cdot10^6\cdot6/(3,6\cdot1,5)=1577777,8 \text{ Вт.}$$

2. Определим полезную мощность по формуле (1.2)

$$P_{пол} = c_рG/(t_{пл})= 0,385\cdot6\cdot10^3/1,5=1540 \text{ кВт.}$$

Для последующих расчетов принимаем $P_{пол}$ =1600 кВт, тепловые потери ΔP_m =110 кВт (6,88 % от полезной мощности).

3. Далее необходимо определить активную мощность P_2 , передаваемую в загрузку(шихту) по формуле (1.4)

$$P_2 = P_{пол} + \Delta P_m = 1600+110=1710 \text{ кВт.}$$

4. Определим термический КПД ИТП по формуле (1.3)

$$\eta_m = P_{пол} /(P_{пол} + \Delta P_m)=1600/1710=0,936.$$

5. Принимаем электрический КПД $\eta_э$ =0,85 и рассчитываем активную мощность печи по формуле (1.5)

$$P_n = P_2/\eta_э = 1710/0{,}85 = 2011{,}8 \text{ кВт}.$$

6. Определим мощность источника питания с учетом потерь в токоподводе и в конденсаторной батарее по формуле (1.6)

Принимаем мощность потерь 9% от активной мощности печи $\Delta P_{т.к} = 0{,}09 \cdot 2011{,}8 = 181{,}1$кВт

$$P_{ист} = P_n + \Delta P_{т.к} = 2011{,}8 + 181{,}1 = 2192{,}9 \text{ кВт}.$$

Расчет частоты источника питания индукционной тигельной печи

Расчет частоты индукционных тигельных печей производится исходя из выражения для определения глубины проникновения тока в загрузку(шихту)

$$\Delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu_0 \mu_r 2\pi f}}, \text{ м}, \qquad (1.7)$$

где ρ – удельное сопротивление загрузки,

$\mu_г$ – относительная магнитная проницаемость загрузки,

$\mu_0 – 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная проницаемость вакуума,

f - частота питающей сети, Гц.

Из формулы (1.7) частота ИТП в общем виде равна

$$f = 0{,}2533 \frac{\rho \cdot 10^6}{\mu_r \cdot \Delta^2}, \text{ Гц} \qquad (1.8)$$

Выражение для f_{min} зависит от значения некоторого характерного размера (аргумента)

$$m_2 = \frac{d_{\underline{Ш}}}{\sqrt{2}\cdot} \frac{1}{\Delta_Ш},$$

где $d_{\underline{Ш}}$ – средний диаметр кусков шихты, м

$\Delta_Ш$ – глубина проникновения тока в шихту, м.

Заменив в формуле (1.8) Δ на Δш и выразив $\Delta_ш$ через m_2, определим f_{min} .

Следует помнить, что при нагреве стали изменяются ее удельное сопротивление и магнитная проницаемость.

Магнитная проницаемость слабо зависит от температуры примерно до 650 – 700°С, после чего быстро уменьшается и достигает значения, примерно равного проницаемости вакуума. В приближенных расчетах считают, что она падает скачком до μ=1 в точке магнитных превращений (точке Кюри), соответствующей температуре 750-770 °С.

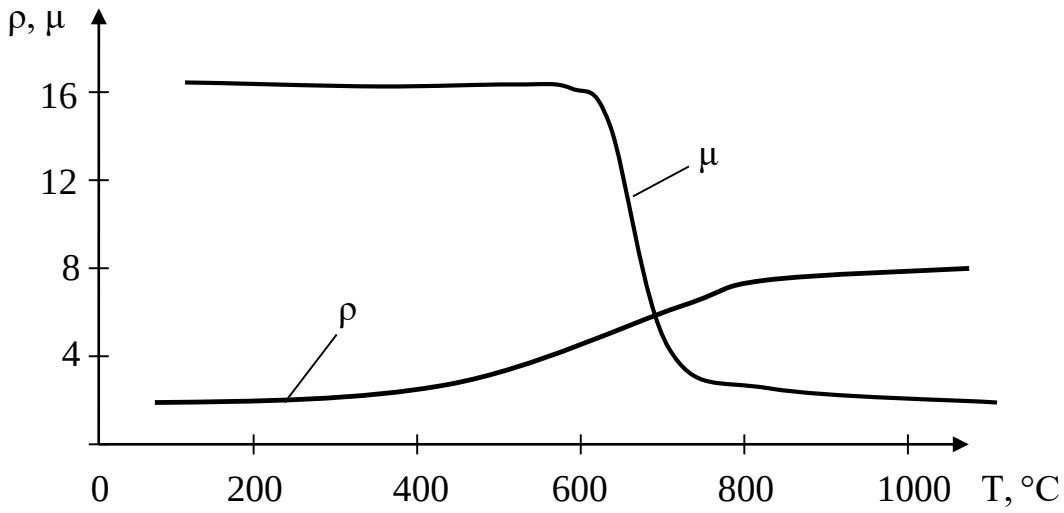


Рисунок 1.1. Зависимость относительной магнитной проницаемости и удельного сопротивления от температуры для среднеуглеродистой стали

На рисунке 1.1 исходное значение магнитной проницаемости принято равным 16, что объясняется применением при индукционном нагреве сильных магнитных полей. Часто ее исходное значение составляет 5-6.

Зависимость удельного сопротивления от температуры для стали с содержанием углерода 0,4-0,5 % приведена также на рисунке 1.1. Из кривой видно, что в интервале от 15 до 800°С удельное сопротивление возрастает примерно в 5 раз. Далее рост удельного сопротивления замедляется, причем значения его для разных марок стали становятся примерно равными.

В среднем принимаем в интервале температур 800-900°С удельное сопротивление равным 10^{-6} Ом·м. В результате падения

магнитной проницаемости и роста удельного сопротивления в процессе нагрева глубина проникновения тока возрастает в 8-10 раз.

Для определения глубины проникновения тока в сталь, нагретую выше точки магнитных превращений, запишем формулу

$$\Delta_k \approx 0{,}5/\sqrt{f} \quad \text{при } \rho = \rho_k = 10^{-6} \text{ Ом·м и } \mu=1.$$

Индекс «k» указывает, что значения соответствующих величин относятся к температуре, превышающей точку магнитных превращений (т. Кюри). Глубину проникновения тока в этом случае будем называть горячей глубиной проникновения тока.

Изменение удельного сопротивления для чистых металлов можно посмотреть в /1/.

По рекомендациям /2/ минимальная частота печи с кусковой шихтой определяется по формуле

$$f_{min} \geq 4{,}54 \cdot 10^6 \frac{\rho_{\underline{ш}}}{d^2_{\underline{ш}}} \text{ , Гц при условии } d_{\underline{ш}}/\sqrt{2} \cdot \Delta_ш \geq 3 \quad (1.9)$$

где $\rho_{\underline{ш}}$ – удельное сопротивление шихты при температуре потери магнитных свойств.

Определив f_{min} , произведем выбор частоты, исходя из шкалы частот источников питания электротермических установок: 50, 500, 1000, 2400, 4000, 8000, 10000 Гц.

Пример 2

Рассчитать частоту источника питания и выбрать источник питания индукционной тигельной печи.

Исходные данные:

Печь предназначена для плавки стали, имеющей следующие характеристики:

- температура разливки t_k =1600°С;
- плотность при температуре разливки γ =7200 кг/м^3;
- теплосодержание при температуре разливки q=1,42·10^6 Дж/кг /7/;
- энтальпия при температуре разливки c_p = 0,385 кВт·ч/кг /6/;
- удельное сопротивление стали в холодном состоянии ρ_x=0,2·10^{-6} Ом·м;
- удельное сопротивление стали при температуре потери магнитных свойств $\rho_{\underline{ш}}$=1·10^{-6} Ом·м;

- удельное сопротивление стали перед сплавлением кусков шихты $\rho'_{ш}=1{,}2\cdot10^{-6}$ Ом·м;

- удельное сопротивление стали при температуре разливки $\rho_2=1{,}37\cdot10^{-6}$ Ом·м;

Плавка стали производится без рафинирования, режим работы – на твердой завалке. Время плавки $t_{пл}$ = 1,5 ч. Средний диаметр кусков шихты $d_{ш}$ = 0,08 м.

Определим минимальную частоту тока индукционной тигельной печи по формуле (1.9)

$$f_{min} \geq 4{,}54 \cdot 10^6 \frac{\rho_{ш}}{d_{ш}^2}$$

$$f_{min} \geq 4{,}54\cdot10^6 \cdot 1\cdot10^{-6}/0{,}08^2 = 709 \text{ Гц}$$

Выбираем частоту 500 Гц .

В качестве источника питания принимаем три тиристорных преобразователя, включенные в параллель, суммарной мощностью 2400 кВт. Напряжение источника питания, подводимое к индуктору $U_{и}$ =1500 В.

Характеристики выбранного источника питания соответствуют данным для индукционной тигельной печи ИСТ-6, предназначенной для плавки стали.

2 ЭЛЕКТРОФИЛЬТР. ПРИНЦИП РАБОТЫ. УСТРОЙСТВО. РАСЧЕТ

Электрофильтр — это устройство, в котором очистка газов от аэрозольных, твердых или жидких частиц происходит под действием электрических сил. В результате действия электрического поля заряженные частицы выводятся из очищаемого газового потока и осаждаются на электродах. Зарядка частиц происходит в поле коронного разряда. Электрофильтр представляет собой корпус прямолинейной или цилиндрической формы, внутри которого смонтированы осадительные и коронирующие электроды различной конструкции (в зависимости от назначения и области применения электрофильтра, а также от специфики улавливаемых частиц). Коронирующие электроды подключены к высоковольтному источнику питания выпрямленным током напряжением 50—60 кВ. Электрофильтры, в которых улавливаемые твердые частицы удаляются с электродов встряхиванием, называются сухими, а те, в которых осаженные частицы смываются с электродов жидкостью или улавливаются жидкими частицами (туман, брызги), — мокрыми.

По числу электрических полей, через которые очищенный газ последовательно проходит, электрофильтры подразделяют на однопольные и многопольные. Иногда электрофильтры разбивают на параллельные по ходу газа камеры — секции. По этому признаку они могут быть одно- и многосекционными. Очищаемый в электрофильтре газ проходит активную зону в вертикальном или горизонтальном направлениях, поэтому электрофильтры бывают вертикальными или горизонтальными. По типу осадительных электродов электрофильтры делят на пластинчатые и трубчатые. Основные конструкторские типы электрофильтров — горизонтальный пластинчатый и вертикальный трубчатый.

Чтобы понять принцип работы электрофильтра, следует сначала рассмотреть электрическую цепь. Она состоит из таких элементов, как источник тока и двух, параллельно расположенных друг к другу металлических пластин, которые разделены между собой воздухом. Это устройство представляет собой не что иное, как воздушный конденсатор, однако электрический ток в такой цепи течь не будет, потому что слой воздуха между пластинами, впрочем, и другие газы, не способен проводить электричество.

Однако стоит только приложить к металлическим пластинам необходимую разность потенциалов, как гальванометр, подключенный к этой цепи, зафиксирует прохождение электрического тока из-за ионизации слоя воздуха между этими пластинами.

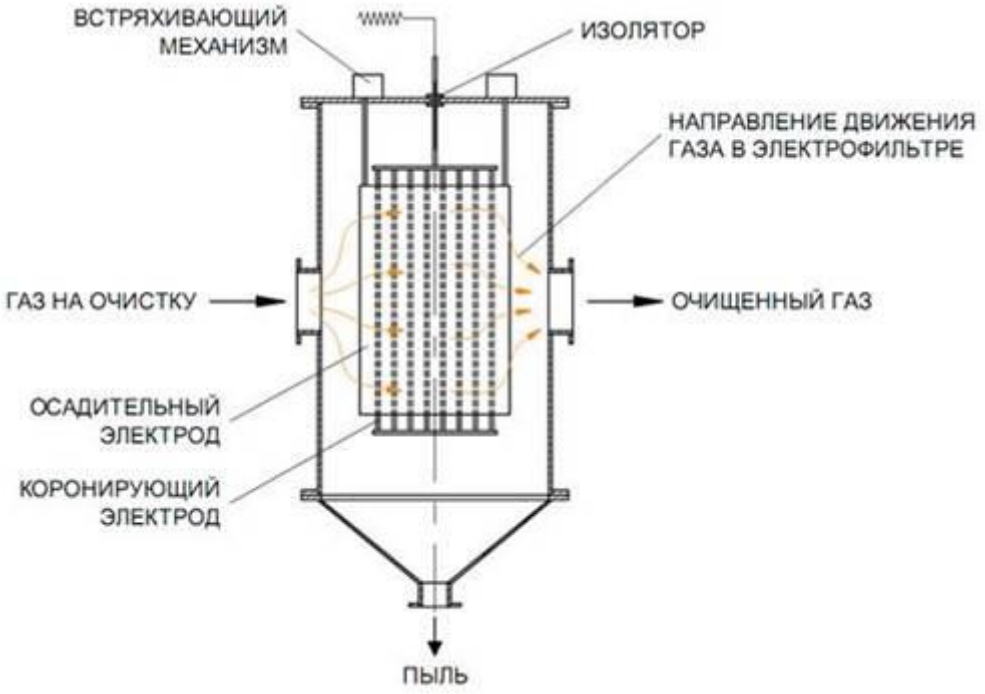


Рисунок 2.1. Горизонтальный пластинчатый электрофильтр

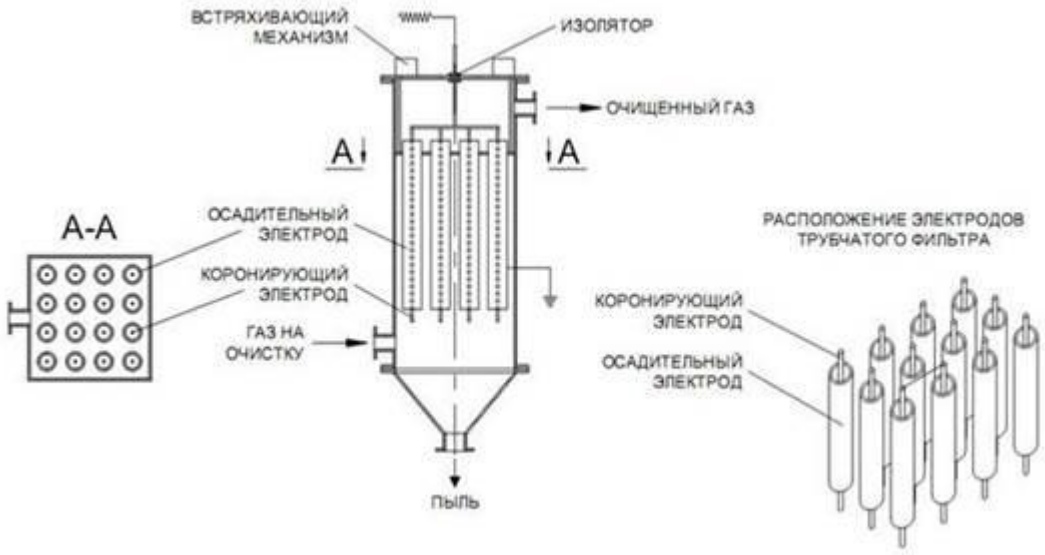


Рисунок 2.2. Трубчатый электрофильтр

Что касается ионизации газа между двумя электродами, то она может возникать в двух случаях:

1. Несамостоятельно, то есть с применением каких-либо «ионизаторов», к примеру, рентгеновских или других лучей. После того, как воздействие этого «ионизатора» будет закончено, начнет постепенно наступать рекомбинация, то есть будет происходить обратный процесс: ионы различных знаков вновь станут соединяться между собой, образовывая тем самым электронейтральные молекулы газа.

2. Самостоятельно, осуществляется за счет повышения в электросети напряжения до величины, которая превышает величину диэлектрической постоянной используемого газа.

При электрической очистке газов применяется только вторая ионизация, то есть самостоятельная.

Если начать увеличивать разность потенциалов между металлическими пластинами, то в какой-то момент она обязательно достигнет критической точки (пробивное напряжения для слоя воздуха), воздух будет «пробит» и в цепи резко возрастет сила тока, а между металлическими пластинами появится искра, которую назвали – самостоятельный газовый разряд.

Молекулы воздуха под напряжением начинают расщепляться на положительно и отрицательно заряженные ионы, и электроны. Под воздействием электрического поля ионы двигаются к электродам, которые заряжены противоположно. С увеличением напряжения электрического поля скорость, а, соответственно, и кинетическая энергия ионов и электронов начинает постепенно возрастать. Когда их скорость доходит до критической величины и несколько превышает ее, они расщепляют все нейтральные молекулы, встречающиеся на пути. Так происходит ионизация всего газа, находящегося между двумя электродами.

Когда между параллельно расположенными пластинами одновременно образуется довольно значительное число ионов, сила электрического тока начинает сильно возрастать и появляется искровой разряд.

В силу того, что молекулы воздуха получают от ионов, движущихся в определенном направлении, импульсы, вместе с так называемой «ударной» ионизацией возникает еще и достаточно интенсивное движение воздушной массы.

Самостоятельную ионизацию в методике электроочистки газов осуществляют путем приложения на электроды высоких напряжений. При ионизации данным способом нужно, чтобы слой газа пробивало лишь на некотором отрезке расстояния между двумя электродами. Необходимо чтобы часть газа оставалась непробитой и служила в своем роде изоляцией, которая бы предохраняла от короткого замыкания параллельные электроды от возникновения искры или дуги (чтобы не произошло пробоя диэлектрика).

Создают такую «изоляцию» путем подбора формы электродов, а также расстояния между ними в соответствии с напряжением. Стоит отметить, что электроды, которые представлены в виде двух параллельных плоскостей, в этом случае не подойдут, так как между ними в любой точке поля всегда будет одинаковое напряжение, то есть поле будет неизменно однородным. Когда разность потенциалов между одним плоским электродом и другим достигнет величины пробивного напряжения, весь воздух будет пробит и появится искровой разряд, однако ионизации воздуха не случится в силу того, что все поле однородно.

Неоднородное поле может возникнуть только между электродами, которые имеют вид концентрических цилиндров (трубы и провода), либо же плоскости и цилиндра (пластина и провода). Непосредственно вблизи провода напряжение поля настолько большое, что ионы и электроны становятся способны к ионизации нейтральных молекул, однако по мере удаления от провода напряжение поля и скорость движения ионов настолько уменьшаются, что ударная ионизация попросту становится нереальной.

Соотношение между величиной радиуса трубы (R) и провода (r) должно быть обязательно определенным во избежание появления искры между двумя цилиндрическими электродами. Расчеты показали, что ионизация газа без короткого замыкания возможна при R/r больше или равным 2,72.

Появление вокруг проволоки слабого свечения или так называемой «короны» является основным видимым признаком того, что наступил ионный разряд. Такое явление называется коронным разрядом. Слабое свечение постоянно сопровождает характерный звук — это может быть потрескивание, либо же шипение.

Провод (электрод), вокруг которого возникает свечение, называют коронирующим электродом. «Корона» в зависимости от

того каким полюсом соединен провод, бывает либо положительной, либо отрицательной. При электрической очистке газов используют только второй вариант, то есть отрицательную «корону». Хотя она, в отличие от положительной, менее равномерна, все же такая «корона» способна допускать более высокую критическую разность потенциалов.

К осадительным электродам предъявляются следующие требования: быть прочными, жесткими, иметь гладкую поверхность, чтобы можно было без проблем удалять уловленную пыль, а также достаточно высокие аэродинамические характеристики.

Осадительные электроды по форме и конструкции условно делятся на три больших группы: 1) пластинчатые; 2) коробчатые; 3) желобчатые.

К коронирующим электродам предъявляются следующие требования: должны иметь точную форму, чтобы обеспечить интенсивный и достаточно однородный коронный разряд; обладать механической прочностью и жесткостью, чтобы обеспечить надежную, бесперебойную и долговечную работу в условиях встряхивания и вибрации; быть простыми в изготовлении и иметь низкую стоимость, так как коронирующие электроды могут иметь достаточно большую длину ; быть стойкими к агрессивным средам.

Различают две большие группы коронирующих электродов: электроды без фиксированных разрядных точек и электроды с фиксированными разрядными точками по всей длине электрода. У вторых источники разряда — это острые выступы или шипы, при этом есть возможность управлять работой электрода. Для этого нужно менять расстояние между шипами.

Систему осадительных и коронирующих электродов размещают, как правило, внутри металлического сварного корпуса, в редких случаях в корпусе из железобетона, который изготовлен в форме П-образных рам. Оборудование внутрь корпуса загружают либо сверху, либо сбоку. Корпус снаружи должен обязательно иметь теплоизоляцию во избежание температурных деформаций и появления конденсации влаги.

Узел подвода и равномерного распределения запыленного воздуха, как правило, состоит из системы газораспределительных решеток, которые установлены перед главной камерой, где располагается система осадительных и коронирующих электродов,

и представляет собой перфорированные листы, установленные в два яруса, их живое сечение составляет от 35 до 50 процентов.

Чтобы удалить уловленную пыль из электрофильтров, применяют специальные системы встряхивания электродов. В сухих электрофильтрах обычно используют несколько таких систем — это пружинно-кулачковая, ударно-молотковая, вибрационная, либо же магнитно-импульсная система. Кроме этого, уловленные частицы могут просто смывать с электродов водой.

Преимущества электрофильтров: возможность самой высокой степени очистки газов (до 99,9 %), низкие затраты энергии (до 0,8 кВт на 1000 $м^3$ газа), очистка газа может проводится даже при высоких температурах, процесс очистки может быть полностью автоматизирован.

При расчете электрофильтров определяются площадь сечения, длина электродов, количество электрофильтров, скорость осаждения частиц пыли, скорость движения газов в электрофильтрах, крупность осаждаемых частиц и расстояния между электродами. Упрощенный расчет состоит из определения сечения фильтров и их количества по заданной производительности и скорости газов.

Обычно удельное электрическое сопротивление (УЭС) пылей, улавливаемых в электрофильтрах, находится в диапазоне 10^2–10^{12} Ом·м. Диэлектрическая проницаемость частиц изменяется в диапазоне от 2-х – для хороших диэлектриков и до бесконечности – для проводников. Диэлектрическая проницаемость частицы определяет ее поляризацию в электрическом поле и влияет на заряд и ориентацию частиц при движении их в межэлектродном промежутке электрофильтра.

Относительная диэлектрическая проницаемость (электрическая постоянная) ε – величина, показывающая, во сколько раз сила взаимодействия двух электрических зарядов в среде меньше, чем в вакууме.

Относительная диэлектрическая проницаемость равна:

– для газов при 0°С близка к единице (воздух – 1,00059; водяной пар при 100° С – 1,0006);

– для жидкостей при 20° С:

- для воды – 81;
- для спирта – 26;
- для масла трансформаторного – 2,2;

– для твердых веществ:

- гипс – 5;
- кварц, сера – 5;
- металлы - ∞ ;
- лед (при 10° С:) – 70;
- окислы металлов – 12 – 18;
- резина – 3 – 6;
- стекло – 6,6 – 10,0;
- фарфор – 4,4 – 6,8;
- янтарь – 2,8.

Пример расчета электрических характеристик электрофильтра

Выбрать и рассчитать электрофильтр серии УГ для очистки газов мартеновской печи при следующих исходных данных:

- расход влажного газа L_0 =160000 м^3/ч;
- плотность газов ρ_0 = 1,31 кг/м^3;
- температура газов t = 180 °С;
- барометрическое давление $P_{бар}$=101,3 кПа;
- разряжение в системе аспирации $P_г$= 2 кПа;
- рабочее напряжение U=80 · 10^3 В;
- состав дымовых газов: CO_2=13%, H_2O=8,5%, O_2=6,5%, N_2=72%;
- концентрации пыли перед электрофильтром 6 г/м^3

Дисперсный состав пыли с учетом коагуляции за счет подачи пара в газоход:

Размер, мкм	<1	1-2	2-15	15-30	>30
Содержание, % (по массе)	5	10	70	10	5

Находим плотность газов при рабочих условиях:

$$\rho_г = \frac{\rho_0 \left(P_{бар} - P_г\right)273}{P_{бар}(273 + t)} = \frac{1{,}31(101{,}3 - 2)273}{101{,}3(273 + 180)} = 0{,}77 кг/м^3$$

Определяем расход газов при рабочих условиях:

$$L_г = \frac{L_0 \rho_0}{3600 \rho_г} = \frac{160000 \cdot 1{,}31}{3600 \cdot 0{,}77} = 76 м^3/с$$

Зададимся скоростью $w_г$ =1,0 м/с газа в электрофильтре и определим необходимую площадь поперечного сечения электрофильтра

$$F=L_г/\ w_г =76/1{,}0 =76\ м^2$$

4. Вследствие высокой дисперсности пыли выбираем наиболее эффективный электрофильтр типа УГ 22-3-74 с $F_ф$ =74 м^2. Далее уточняем фактическую скорость газа в электрофильтре:

$$w_г = L_г / F_ф = 76/74=1{,}03\ м/с$$

5. Далее находим относительную плотность газов при стандартных условиях ($P_{ст}$ =101,3 кПа; $t_{ст}$ = 20 °С)

$$\beta = \frac{(P_{БАР}-P_Г)T_{СТ}}{P_{СТ}(273+t)} = \frac{(101{,}3-2)(273+20)}{101{,}3(273+180)} = 0{,}63$$

6. Определим критическую напряженность электрического поля электрофильтра:

$$E_{КР} = 3{,}04\left(\beta + 0{,}0311\sqrt{\frac{\beta}{R_1}}\right)\cdot 10^6 = 3{,}04\big(0{,}63 +$$

$$+0{,}0311\sqrt{0{,}63/0{,}001}\big)\cdot 10^6 = 4{,}28\cdot 10^6\ В/М$$

где R_1 – радиус острия коронирующего электрода, принимаем равным 1 мм

7. Определяем критическое напряжение короны для пластинчатого электрофильтра типа УГ:

$$U_{кр} = E_{кр}\cdot R_1\left(\frac{\pi H}{S} - 2{,}3lg2\pi\frac{R_1}{S}\right) =$$

$$= 4{,}28\cdot 10^6\cdot$$

$$\cdot\, 0{,}001\left(3{,}14\cdot\frac{0{,}275}{0{,}18}\cdot 2 - 2{,}3\cdot lg2\cdot 3{,}14\cdot\frac{0{,}001}{0{,}18}\right) =$$

$$= 24600\ В$$

где Н – расстояние между плоскостями коронирующих и осадительных электродов, м; Н=0,275/2 м; S – шаг коронирующих электродов, м; S =0,18 м

8. Далее определим линейную плотность тока короны:

$$I = \frac{4\pi^2\cdot K\cdot f\cdot U(U-U_{КР})}{9\cdot 10^9\cdot S^2\left(\frac{\pi H}{S} - 2{,}3\cdot lg2\pi\cdot R_1/S\right)} =$$

$$= \frac{4\cdot 3{,}14^2\cdot 2{,}1\cdot 10^{-4}\cdot 0{,}055\cdot 80000(80000-24600)}{9\cdot 10^9\cdot 0{,}18^2\cdot\left(\frac{3{,}14\cdot 0{,}275}{0{,}18\cdot 2} - \frac{2{,}3lg2\cdot 3{,}14\cdot 0{,}001}{0{,}18}\right)} =$$

$$= 0{,}12\cdot 10^{-3} А/М$$

где К – подвижность ионов, для воздуха К= $2{,}1 \cdot 10^{-4}$ $м^2/(В \cdot с)$; f – коэффициент, зависящий от отношения H/S, его значения принимаем по таблице 1.

Таблица 1 – значение поправочного коэффициента f

H/S	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
f	0,08	0,068	0,046	0,035	0,027	0,022	0,017	0,015	0,013	0,011

При H/S =0,275/(2-0,18) = 0,76 коэффициент f =0,055

9. Напряженность электрического поля определяем по формуле:

$$E = \sqrt{\frac{8 \cdot I \cdot H}{4\pi \cdot K \cdot \varepsilon_0 \cdot S}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 0{,}12 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}138}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 2{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 0{,}18}} = 1{,}78 \cdot 10^5 \text{В/м}$$

где ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы [Текст]: учебник / Л.: Энергоатомиздат, Ленингр.отд., 1985. -304 с.

2. Индукционные плавильные печи [Текст] : учебное пособие / А.М. Вайнберг - М.: Энергия, 1967. - 416 с.

3. Фарбман С.А., Колобнев И.Ф. Индукционные печи для плавки металлов и сплавов. Изд. доп. и перераб. М.: Металлургия, 1968. - 496 с.

4. Цыганов В.А. Плавка цветных металлов в индукционных печах. М.: Металлургия, 1974. - 248 с.

5. Башенко В.В., Донской А.В., Соломахин И.М. Электроплавильные печи цветной металлургии. М.: Металлургия, 1971. - 320 с.

6. Фомин Н.И., Затуловский Л.М. Электрические печи и установки индукционного нагрева. М.: Металлургия, 1979. - 247 с.

7. Установки индукционного нагрева: Учебное пособие для вузов /А.Е. Слухоцкий, В.С. Немков, Н.А. Павлов, А.В. Бамунэр; Под. ред. А.Е. Слухоцкого. Л.: Энергоиздат, Ленинградское отд-ние, 1981. - 328 с.

8. Электротермическое оборудование: Справочник /Под общей ред. А.П. Альтгаузена. М.: Энергия, 1980. - 416 с.

9. ГОСТ Р 51707-2001. Электрофильтры. Требования безопасности и методы испытаний. Введ. 29.01.2001. М: Изд-во стандартов, 2001.

10. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.

11. Санаев Ю.И. Электрофильтры: монтаж, наладка, испытание, эксплуатация./Обзорная информация. Серия ХМ-14. М., «ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ», 1984.