гими видами регенерации Выходная концентрация пыли очень низкая, даже при небольшой начальной запыленности газов ($c_{вх} \leqslant 100$ мг/м³)

Аэродинамические свойства чистых фильтровальных тканей характеризуются воздухопроницаемостью — расходом воздуха при определенном перепаде давления, обычно равном 49 Па Воздухопроницаемость измеряется в м³/(м² мин) или в л/(м² с), и численно равна скорости фильтрации при $\Delta p = 50$ Па

Аэродинамическое сопротивление незапыленных тканей при рекомендуемых нагрузках по газу 0,3—2 м³/(м²·мин) обычно составляет 5—40 Па

По мере запыления аэродинамическое сопротивление ткани возрастает, расход газа через фильтр при достижении сопротивления, равного статическому напору вентилятора, снижается, затем остается постоянным, а расход газа продолжает уменьшаться

Для поддержания производительности фильтра при заданном значении перепада давления на нем ткань регенерируют путем продувки в обратном направлении, механического встряхивания или другими комбинированными методами

После определенного периода (от нескольких десятков до нескольких сот часов — в зависимости от условий эксплуатации) работы фильтра с чередованием циклов фильтрации и регенерации остаточное количество пыли в ткани стабилизируется и соответствует так называемому равновесному пылесодержанию ткани и остаточному сопротивлению равновесно запыленной ткани Значения этих величин зависят от типа фильтрующего материала, размеров и свойств пылевых частиц, относительной влажности газов, метода регенерации и других факторов.

Иногда остаточное сопротивление ткани непрерывно увеличивается, т е происходит забивание или «замазывание» ткани Это явление не связано непосредственно с воздухопроницаемостью чистой ткани, а возникает прежде всего в результате застревания частиц внутри волокнистой пряжи и в порах между нитями из за высокого перепада давления, в результате химических и физических процессов, происходящих в пыли, находящейся в порах и на волокнах пряжи, особенно при наличии влаги или электростатических взаимодействий

Для оценки целесообразности применения тканевых фильтров в каждом из конкретных случаев используют данные эксплуатации фильтров с подходящими тканями в условиях, аналогичных рассматриваемым, уточняя оптимальные параметры работы путем проведения испытаний опытно-промышленных установок

Классификация тканевых фильтров и некоторые особенности их устройства

Тканевые фильтры различаются между собой по следующим признакам:

по форме фильтровальных элементов (рукавные, плоские, клиновые и др) и наличию в них опорных устройств (каркасные, рамные),

по месту расположения вентилятора относительно фильтра (всасывающие, работающие под разрежением, и нагнетательные, работающие под давлением),

по способу регенерации ткани (встряхиваемые, с обратной продувкой, с вибровстряхиванием, с импульсной продувкой и др),

по наличию и форме корпуса для размещения ткани — прямоугольные, цилиндрические, открытые (бескамерные),

по числу секций в установке (однокамерные и многосекционные),

по виду используемой ткани (например, стеклотканевые).

Размеры рукавов обусловливаются конструкционными особенностями и экономическими соображениями чем больше высота рукавов, тем обычно больше их диаметр (это делается для того, чтобы снизить износ ткани на входе в рукав). Диаметр рукавов может быть различен, но, как правило, не превышает 600 мм. Максимальное отношение длины рукава к диаметру достигает 50 1, наиболее распространено отношение (16—20) 1 Чаще всего диаметр рукавов составляет 127, 220, 300 мм, длина 2400—3500 мм, но вместе с тем распространены фильтры с длиной рукавов 10—12 м

Запыленные газы могут вводиться в рукава снизу или сверху При вводе снизу ограничивается возможная длина рукавов, так как трудно обеспечить выпадение пыли в течение короткого периода встряхивания Кроме того, за счет фракционного отвеивания в верхней части рукавов накапливается очень тонкая пыль, которая плохо сбрасывается при регенерации При вводе сверху направление потока газов способствует выпадению пыли в бункер и возможно применение более длинных рукавов, однако в этом случае возникает опасность существенного повышения температуры в верхней части корпуса фильтра, а устройства для натяжения рукавов оказываются более сложными

В рукавах для предотвращения их сжатия и облегчения выпадения пыли в бункер при регенерации на определенных расстояниях часто устанавливаются кольца жесткости

Способы крепления и натяжения рукавов оказывают значительное влияние на сроки их службы Чаще всего рукава надевают на патрубки и уплотняют на них хомутами с винтовыми зажимами или другими специальными уплотняющими

приспособлениями На патрубках предусматриваются кольцевые буртики, предотвращающие соскальзывание рукавов Так как в этом месте ткань подвергается наибольшему износу, эту часть рукавов усиливают (делают двойной) или пропитывают латексом

Крепление рукавов в гнездах нижней чугунной трубкой решетки без патрубков осуществляется тонкими пружинящими кольцами из специальной стали, которые после дополнительной обшивки тканью вшиваются в рукава Если запыленные газы поступают с наружной стороны, то во избежание сплющивания рукава надеваются на проволочные каркасы

Конструкция корпуса рукавного фильтра зависит от свойств очищаемых газов, места расположения фильтра В нагнетательных фильтрах при отсутствии в газах или воздухе токсичных примесей каркас корпуса не закрывается При наличии обшивки она служит только для защиты от атмосферных воздействий

Корпуса обычно изготавливаются из стали, иногда из железобетона и должны быть герметичными, чтобы исключить подсос холодного воздуха, который может вызывать конденсацию паров воды

Корпуса всасывающих фильтров рассчитываются на разрежение 3 кПа В особых условиях расчетное разрежение для корпусов увеличивается до 10 кПа, а для цилиндрических корпусов — до 50 кПа

В случае необходимости корпуса покрываются теплоизоляцией или обогреваются

Для осмотра рукавов при обслуживании фильтров в секциях устраивают проходы не только на трубной решетке, но и на уровне подвеса рукавов К каждому рукаву должен быть доступ со стороны проходов, а расстояния между рукавами (не менее 50 мм) должны обеспечивать надежное крепление и не допускать взаимного трения Иногда обслуживание рукавов ведется через люки

В некоторых установках число рукавов доходит до 10 000 и более Распространены два типа секций с небольшим числом рукавов (8—15) и укрупненные — с большим числом рукавов (в некоторых случаях более 100), а количество рукавов большого диаметра иногда доходит до 200 Число секций обоих типов не превышает 10—12 на один аппарат

Помимо рукавных фильтров применяются фильтры с плоской разверткой ткани со значительно большей по сравнению с рукавными фильтрующей поверхностью, приходящейся на единицу объема Фильтрующие элементы таких аппаратов обычно имеют прямоугольную, реже клинообразную форму с одним открытым торцом, которым они закрепляются в распределительной перегородке Каждый мешок, как наволочка, надет на опорный проволочный (сеточный) каркас (рис 5 25)

Элементы фильтра могут иметь следующие размеры высота от 600 до 1200 мм, глубина от 300 до 500 мм, толщина от 25 до 50 мм

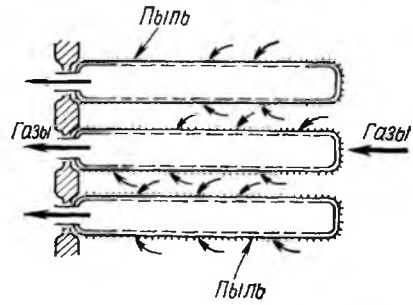


Рис 5 25 Схема плоского каркасного фильтра

Фильтры с плоской разверткой ткани бывают периодического или непрерывного действия Фильтры регенерируются различными способами обстукиванием, вибрацией, импульсной продувкой сжатым воздухом или обработкой продувкой с помощью перемещающегося вдоль перегородки вентилятора или продувочного сопла

Несмотря на преимущества (по габаритам) фильтры с плоской разверткой ткани используются в промышленности реже, чем рукавные К недостаткам описываемых фильтров следует отнести сложность смены мешков и истирание ткани на каркасе

Способы регенерации тканевых фильтров

Существуют два основных способа регенерации запыленных тканей

встряхивание фильтрующих элементов (механическое, аэродинамическое путем пульсации или резких изменений направления фильтруемого потока газов воздействие звуковых колебаний и т п),

обратная продувка фильтрующих элементов очищенными газами или воздухом (нагнетание в секцию газов с низким давлением при большом расходе, подсос атмосферного воздуха, струйная локальная продувка каждого рукава или плоского элемента и др)

Во многих фильтрах сочетаются оба способа регенерации

Механическое встряхивание

Механическое встряхивание закрепленных на общей раме закрытых сверху рукавов наиболее эффективно в продольном направлении, но при этом сильно изнаши-

ваются рукава, особенно в нижней части Встряхивание должно быть кратковременным и резким, но не настолько сильным, чтобы вызвать большие механические усилия в ткани Колебательные перемещения верхних частей рукавов в горизонтальном направлении вызывают значительно меньший износ, но они и менее эффективны так как колебания плохо распространяются по длине рукавов (рис 5 26)

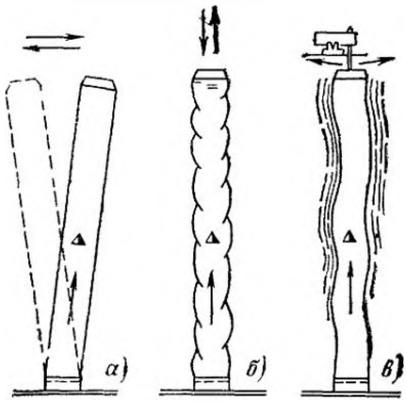


Рис 5 26 Способы встряхивания рукава

а — встяхивание в горизонтальном направлении *б* — ослабление и натяжение рукава в вертикальном направлении *в* — вибрация

Пыль удаляется по длине рукава неравномерно Обычно в средней части рукавов остается больше пыли, что вызывает неравномерное распределение скоростей газов и более быстрое изнашивание тех мест, где интенсивнее происходит процесс регенерации — в верхней и нижней частях, в зависимости от способа встряхивания

Минимальная фильтрующая поверхность тканей и максимальный срок служ-

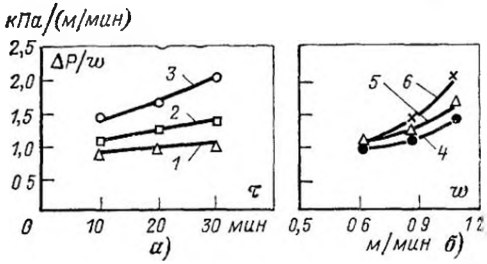


Рис 5 27 Зависимость удельного сопротивления ткани в рукавном фильтре

а — от продолжительности цикла фильтрации при разных скоростях (м/мин) *1* — 0 63 *2* — 0 87 *3* — 1 08 *б* — от скорости фильтрации при различной продолжительности цикла фильтрации (мин) *4* — 10 *5* — 20 *6* — 30

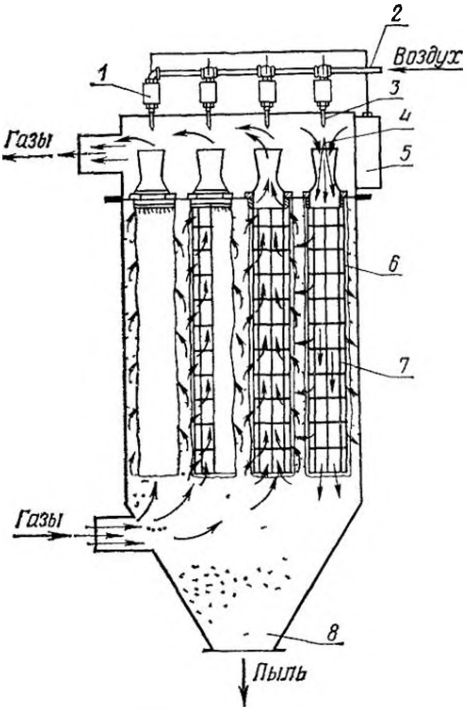


Рис 5 28 Каркасный рукавный фильтр с импульсной продувкой

1 — электромагнитный клапан *2* — труба для ввода сжатого воздуха *3* — сопло *4* — струи сжатого воздуха *5* — прибор автоматического управления регенерацией *6* — рукав *7* — каркас *8* — бункер

бы рукавов достигаются при сочетании коротких циклов фильтрации и регенерации Однако если эффективность очистки газов сразу же после встряхивания очень низка и осадок образуется медленно, необходима высокая начальная скорость, обеспечивающая быстрое образование такого осадка, а затем продолжительный период эффективной очистки газов до достижения заданного значения Δ*p* Такой метод часто используется при эксплуатации высокотемпературных стеклотканевых фильтров, которые работают при низких скоростях и продолжительных циклах фильтрации

Расход электроэнергии на вентилятор, пропорциональный аэродинамическому сопротивлению фильтра, линейно возрастает с увеличением интервалов между регенерациями однако длительность цикла фильтрации при данной скорости не сильно влияет на расход энергии, особенно в условиях низких значений нагрузок по газу (рис 5 27 *а*)

При определенных значениях интервалов наблюдается степенная зависимость

расхода энергии от скорости фильтрации (рис 5 27,б)

Приведенные экспериментальные соотношения получены при фильтрации летучей золы в стеклотканевых фильтрах [5 31]

Операция встряхивания рукавов в продольном направлении заключается в подня тии штанги подвеса на 7—10 см и последующем свободном падении ее с этой высоты вместе с рукавами на подушки, которые амортизируют удар Подъем и сброс рукавов повторяется 5—15 раз в зависимости от свойств пыли Этот способ регенерации в сочетании с обратной продувкой наиболее эффективен и применяется для тяжелых ворсованных тканей, на которых удерживается в равновесном состоянии до 1 кг/м² пыли Колебания рукавов в поперечном направлении чаще используются для тонких тканей с гладкой поверхностью

Механизмы встряхивания должны быть доступными для обслуживания, а их изнашивающиеся части выведены из газового потока

Аэродинамическое встряхивание может осуществляться путем подачи импульса сжатого воздуха внутрь каждого фильтрующего элемента (рис 5 28) Такой вид регенерации используется в каркасных рукавных и плоских фильтрах Избыточное давление сжатого воздуха при регенерации составляет 0 4—0 8 МПа, длительность импульса — от 0,1 до 0,2 с, необходимая частота импульсов зависит от характера изменения сопротивления фильтра и обычно составляет 5—10 импульсов в минуту на каждый рукав Увеличение длительности импульса неэффективно, а остаточное равновесное сопротивление фильтра обратно пропорционально квадрату давления сжатого воздуха в ресивере, частоте импульсов в степени 0,5 и прямо пропорционально входной концентрации в степени 0 25 [5 32]

В рассматриваемом методе механическое воздействие, обеспечивающее деформацию ткани, сочетается с обратной продувкой, так как происходит эжектирование очищенных газов в рукав В качестве фильтрующего материала обычно используются фетры, так как ткани часто очищаются слишком интенсивно, длина рукавов не превышает 2 5—3,5 м

Фильтры с импульсной продувкой не имеют подвижных частей и фильтрация происходит без отключения секций при постоянных значениях сопротивления и расхода очищаемых газов Управление электромагнитными клапанами сжатого воздуха автоматизировано Расход продувочного сжатого воздуха составляет 0,1—0,2% количества очищаемых газов или 1 м³ воздуха на 50—70 м² ткани [5 33]

Очистка ткани обратной продувкой очищенными газами без механического встряхивания применяется в фильтрах с рукавами большой длины и при улавливании пылей, легко сбрасываемых с тканей Очистка ткани достигается при использовании отдельного продувочного вентилятора (рис 5 29) В таком фильтре секционированы только бункеры, которые связаны газоходами с подводящим коллектором для продувочных газов В газоходах на каждую секцию установлены клапаны

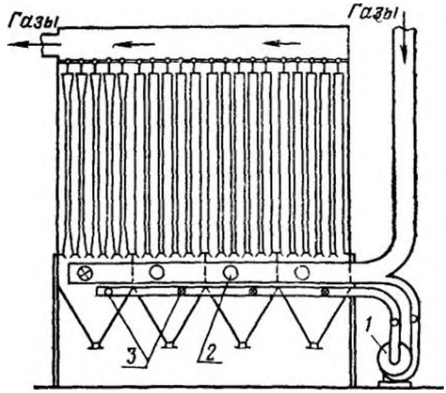


Рис 5 29 Схема рукавного фильтра с обратной продувкой очищенными газами, подаваемыми вентилятором (продувочный клапан крайней секции открыт)

1 — продувочный вентилятор 2 — клапан загрязненных газов 3 — продувочные клапаны

При регенерации закрывается клапан неочищенных газов на бункере очищаемых рукавов и открывается клапан для продувочных газов Вентилятор отсасывает очищенные газы из регенерируемой секции газов через рукава в обратном направлении и нагнетает их в секции неочищенных газов При этом рукава деформируются с образованием по всей длине складок в виде розетки, а пыль выпадает в бункер

Процесс регенерации кратковременный (1—2 с) и регулируется дроссельным клапаном После закрытия обоих клапанов пыль падает в бункер (при отсутствии движения газов) и рукава постепенно раздуваются за счет выравнивания давления Затем при автоматическом управлении клапанами возобновляется цикл очистки Этот способ регенерации часто называют коллапс-методом

Надежность регенерации обеспечивается при тщательной герметизации обоих клапанов Скорости фильтрации в фильтрах с рассматриваемым способом регенерации редко превышают 1 м/мин и часто составляют 0,4—0 6 м/мин Важно в этих фильтрах обеспечить оптимальные и постоянные натяжения рукавов, что позволяет существенно продлить сроки их служ-

бы. Для предотвращения сплющивания рукавов используются кольца жесткости различных конструкций

Коллапс-метод часто применяется в фильтрах без корпуса, работающих под давлением. В этом случае продувочный газоход связан с всасывающим патрубком вентилятора и отдельный вентилятор не ставится.

В фильтрах с обратной продувкой широко используются рукава из стеклянной ткани, обеспечивающие продолжительный срок службы при фильтрации газов с температурой до 260°С в процессах очистки газов от сажи, металлургических возгонов при получении сталей и ферросплавов, от цементных пылей и золы тепловых электростанций и других загрязненных газов Производительность фильтров часто достигает 1—5 млн. м³/ч.

В последние годы внедряются новые синтетические ткани из номекса, лавсана и др [5.34].

Обратная струйная продувка [5.1, 5.35] фильтра заключается в следующем Вдоль рукава вверх и вниз движется полое кольцо, через которое происходит истечение радиальной высокоскоростной струи сжатого воздуха, выдувающей пыль в направлении, обратном фильтрации Воздух подается в кольцо или в раму с кольцами от высоконапорного вентилятора или газодувки через гибкие шланги. Разрушение слоя пыли является результатом одновременной деформации кольцами фильтрующего войлока и выдувания частиц струей, выходящей со скоростью 10—30 м/с Уловленная пыль выпадает в бункер, причем этому способствует движение загрязненных газов сверху вниз. Так как площадь регенерации (определяемая площадью щели кольца) при этом способе незначительна, очистка фетров производится без прекращения процесса фильтрации с сохранением стабильного расхода газов через фильтр (колебание расхода газов составляет ±3% нормального)

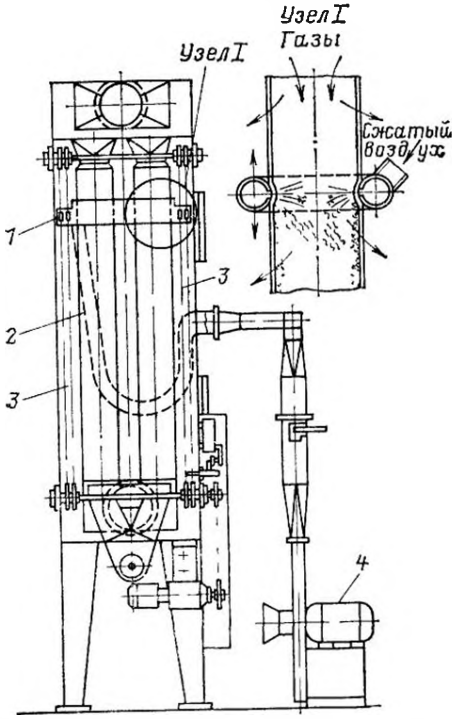


Рис. 5 30 Рукавный фильтр с обратной струйной продувкой:

1 — рама с продувочными кольцами; *2* — гибкий шланг для подвода продувочного воздуха; *3* — цепи для перемещения рамы; *4* — двигатель с высоконапорным вентилятором

На рис. 5.30 показан рукавный фильтр с обратной струйной продувкой (РФОСП). Основные технические характеристики фильтров с рассматриваемым способом регенерации приведены ниже

Эффективность улавливания пыли, %	До 99,999
Скорость фильтрации, м/мин при улавливании:	2—10
возгонов	2—3
тонких пылей	3,5—5
грубых пылей при низких концентрациях . .	7—10
Сопротивление, кПа	0,7—2,0
Скорость перемещения рамы с кольцами, м/мин . .	6—15
Скорость истечения струи, м/с	10—30
Оптимальный расход продувочного воздуха на 1 мм щели, м³/мин	1,0—1,5·10⁻³

Скорость фильтрации в этих фильтрах в 2—4 раза выше, чем в фильтрах со встряхиванием при аналогичных условиях. Скорость истечения струи обычно не превышает 25 м/с; с увеличением скорости истечения возрастает проскок пыли. Средняя ширина щели составляет 1,2—2,0 мм. При более широких щелях (2—3 мм) можно использовать недорогие центробежные вентиляторы. С уменьшением продолжительности продувки проскок частиц резко снижается, поэтому эффективность фильтров особенно высока при малой входной запыленности. Концентрация пыли в очищенном газе составляет 0,1—5 мг/м³.

Недостатком фильтров типа РФОСП является чрезмерное истирание фетров из-за частой регенерации, особенно при улавливании абразивных пылей. Для уменьшения износа применяются подвижные самоустанавливающиеся полукольца, поверхность которых специально обработана.

Фильтры с импульсной продувкой используются при низких входных концентрациях на свинцовых и других заводах, так

как наиболее полно соответствуют требованиям безопасной работы и при наличии одной ступени очистки обеспечивают предельно допустимую концентрацию пыли.

Выбор типоразмера и необходимого числа тканевых фильтров

По технико-экономическим соображениям аэродинамическое сопротивление фильтров не должно превышать 0,75—1,5 кПа и только в особых случаях может составлять 2—2,5 кПа. При более высоком значении сопротивления резко увеличивается проскок и возможен срыв рукавов или их разрушение по шву в результате аэродинамических ударов при переключении секций на регенерацию.

Эффективность очистки пыли в тканевых фильтрах достаточно высока, но может снижаться из-за брака ткани, плохого прижима на патрубках или гнездах, износа или вытяжки рукавов.

По данным многочисленных испытаний остаточная концентрация пыли после тканевых фильтров составляет 5—50 мг/м^3.

Основным фактором, определяющим необходимую площадь фильтровальной ткани в аппарате, является перепад давления на ткани, а не эффективность очистки газа, и только в отдельных случаях допустимая газовая нагрузка на ткань может определяться ожидаемым значением остаточной концентрации пыли

Для приближенного расчета площади фильтрации тканевого фильтра с посекционной регенерацией следует определить общий расход запыленных газов, поступающих на ткань (с учетом подсосов воздуха в газовом тракте от источника пылевыделения до фильтровальной ткани), и расход продувочных газов или воздуха, поступающих из регенерируемой секции. Кроме того, надо знать допустимую нагрузку по газу (скорость фильтрации), которую принимают на основании опыта эксплуатации в зависимости от применяемой ткани, метода регенерации и свойств пыли

Общая площадь фильтрации установки, м^2, составит:

$$S = S_р + S_с = \frac{Q_1 + Q_2}{w} + S_с, \qquad (5.3)$$

где $S_р$ — площадь фильтрации в одновременно работающих секциях, м^2; $S_с$ — площадь ткани в регенерируемой секции, м^2; Q_1 — расход запыленных газов с учетом подсоса, м^3/мин, Q_2 — расход продувочных газов или воздуха, м^3/мин; w — скорость фильтрации (газовая нагрузка на ткань), м^3/(м^2·мин).

Определив общую площадь ткани, находят требуемое число фильтров или секций n в многосекционной установке:

$$n = S/S_1, \qquad (5.4)$$

где S_1 — площадь фильтровальных рукавов в одном фильтре (в одной секции), м^2.

Так как n должно быть целым числом, полученное значение округляют в сторону увеличения числа фильтров или секций.

Практически установлено, что во многих случаях газовая нагрузка и износ рукавов в первую очередь зависят от входной концентрации и размеров частиц пыли и часто большая запыленность и высокая дисперсность вызывают необходимость увеличения размеров фильтра. Поэтому при расчете требуемой поверхности ткани иногда исходят не из принимаемой газовой нагрузки, а из количества пыли, поступающей на единицу поверхности ткани [5.1].

Общее сопротивление установки с рукавными фильтрами представляет собой сумму допускаемого сопротивления ткани, расчетных сопротивлений газоходов и корпуса фильтра.

Расход продувочного воздуха в фильтрах со встряхиванием на регенерацию обратной продувкой составляет 1,5—1,8 м^3/(м^2·мин), отношение расхода продувочного воздуха к расходу при фильтрации — от 1,5 до 2 Для синтетических и стеклянных тканей это отношение принимается меньшим во избежание слишком интенсивной очистки.

Выше указывалось, что значение перепада давления на фильтре в значительной степени определяется способом регенерации ткани. Если принятый способ и режим регенерации мало эффективны, то для успешного удаления пыли с ткани необходимо либо накапливать толстые слои пыли при соответствующем снижении скорости фильтрации, что ведет к увеличению габаритов фильтра, либо интенсифицировать режим регенерации. Но при этом сокращается срок службы тканей, так как они подвергаются более частым сильным механическим воздействиям. Капитальные затраты на такие фильтры обычно ниже, но возникающие в последующем расходы на обслуживание и замену рукавов и изнашивающихся деталей велики.

При использовании фильтров, в которых способ и режим регенерации не вызывают сильного износа тканей, но связаны со значительным увеличением их площади первоначальные затраты увеличиваются, но продолжительность работы фильтров без дорогостоящих остановок на текущий ремонт значительно возрастает. Большие капитальные затраты в этом случае компенсируются за счет более длительной работы рукавов и движущихся деталей и снижения стоимости обслуживания. Нередко ткани в таких установках выдерживают 1 млн. циклов регенераций, что очень редко

достигается в фильтрах с обратной продувкой и одновременным вертикальным встряхиванием рукавов Следует отметить, что расходы на замену одного комплекта рукавов составляют 10—20% и выше общих эксплуатационных расходов.

При выборе типа тканевого фильтра применительно к новому технологическому процессу следует иметь в виду, что многие основные виды серийных аппаратов, особенно с высокой производительностью, созданы для определенных производств

Например, фильтры РФГ, УРФМ, РФОСП применяются в основном для улавливания возгонов в цветной и черной металлургии, фильтры ФР и ФРД — в сажевых производствах, фильтры СМЦ — на цементных заводах Вместе с тем все эти аппараты могут быть успешно использованы в других отраслях промышленности наряду с такими более универсальными фильтрами, как ФРКИ, ФРО, ФРУ, Г4-ВФМ

В табл 5 15 приведены ориентировочные скорости фильтрации тканевых фильтров, используемых в различных отраслях промышленности [5 33, 5 34, 5 36, 5 37, 5 38], причем приведенные значения относятся к средним величинам входных концентраций пылей, которые кроме этого характеризуются размерами и формой частиц и другими свойствами специфичными для улавливаемого материала и технологического процесса Скорости фильтрации, как правило, будут меньше при повышенных концентрациях и температурах и при меньших размерах частиц, чем это обычно встречается Деление пыли на пять классов является условным

Одним из главных условий нормальной работы тканевых фильтров является поддержание необходимой температуры очищаемых газов на входе в фильтр и внутри него При температурах более высоких, чем указано в табл 5 13, резко сокращается срок службы ткани, а при температурах ниже точки росы возможна конденсация водяных паров, сопровождаемая образованием неудаляемых наростов или почти полной потерей газопроницаемости ткани и усилением коррозии металлических деталей

Температура газов на выходе из фильтра должна быть на 15—30°С выше тем-

Таблица 5.15. **Рекомендуемые скорости фильтрации в рукавных фильтрах, м/мин**

Класс пыли	Вид пыли	Фильтр		
		со встряхиванием и продувкой	с импульсной продувкой	с обратной продувкой
1	Сажа*; кремнезем (белая сажа); возгоны свинца*, цинка* и другие аналогичные аэрозоли, образующиеся в газовой фазе за счет конденсации и химических реакций, красители, косметические порошки, моющие средства, молочный порошок; активированный уголь; цемент от печей*	0,45—0,6	0,8—2,0	0,33—0,45
2	Возгоны железа* и ферросплавов*; литейные пыли, глинозем*; цемент от мельниц*, возгоны карбидных печей*, известь*; корунд; аммофос и другие удобрения, пластмассы, крахмал	0,6—0,75	1,5—2,5	0,45—0,55
3	Тальк, каменный уголь; пыль от песко- и дробеструйной очистки, летучая зола*, пыль керамических производств, сажа (вторичная переработка); пигменты, каолин; известняк*, рудные пыли, боксит, цемент* (от холодильников), фрита эмалей	0,7—0,8	2,0—3,5	0,6—0,9
4	Асбест, волокнистые материалы; гипс; перлит; пыли в производстве резины, соли; мука; пыли шлифовальных процессов	0,8—1,55	2,5—4,5	—
5	Табак; кожевенная пыль; комбикорма; пыль в процессах деревообработки; грубые растительные волокна (пенька, джут и др)	0,9—2,0	2,5—6,0	—

* Пыли, для улавливания которых применяются фильтры с обратной продувкой в основном высокотемпературные.

пературы точки росы При работе фильтра под разрежением необходимо принимать меры для максимального снижения подсоса в корпусе атмосферного воздуха В случае необходимости корпус покрывают теплоизоляцией Фильтры целесообразно устанавливать в теплых зонах помещения

Если в фильтр требуется подать дополнительное количество теплоты и сделать это путем повышения температуры газов в технологическом аппарате нельзя, то в запыленный газ подают дополнительно воздух, подогретый с помощью электронагревателей, паровых теплообменников или путем непосредственного сжигания в этом воздухе природного газа Установка внутри корпуса электрических или паровых нагревателей нецелесообразна из-за опасности утечки пара и запыления поверхностей нагревателей

Часто обратная продувка тканей для их регенерации проводится подогретым воздухом Бункеры также приходится подогревать для предотвращения прилипания пыли к стенкам, что особенно важно при остановках фильтра, когда пыль полностью выпускают из бункеров

Запыленные газы иногда требуется охлаждать до температуры, допустимой для использования ткани Способы охлаждения газов рассматриваются в разд 3

При очистке газов с повышением температуры увеличивается объем очищаемых газов Поэтому независимо от термостойкости ткани всегда следует сравнивать дополнительные капитальные затраты на систему охлаждения и затраты на очистку газов с повышенной температурой

Большую роль в обеспечении стабильного процесса очистки ткани от уловленной пыли играют не только используемый метод и режим регенерации, но также способность ткани к регенерации Последняя зависит от характера поверхности, гибкости ткани дополнительной специальной обработки поверхности

Основными причинами забивания тканей является повышенная гигроскопичность пылей, высокая влажность газов и наличие в некоторых выбросах пылей с чрезмерной электрической зарядкой

Применение легких тканей (массой 0 2—0,35 кг/м²) с саржевым плетением из непрерывных волокон особенно из гидрофобных или гидрофобизированных материалов, позволяет иногда успешно работать на весьма липких пылях

Для ликвидации влияния электрической зарядки частиц принимают меры для обеспечения их быстрой разрядки используют электропроводящие ткани, повышают относительную влажность газов до 60—70% [5 39] Следует однако иметь в виду что при повышенной относительной влажности газов (выше 70%) у ряда синтетических тканей (лавсан) резко снижается срок службы

Размерная стабильность фильтрующих тканей в течение всего срока службы также является важным фактором для обеспечения надежной работы фильтров и продления сроков службы рукавов Когда это возможно, выбираются самые стабильные, правильно термофиксированные волокна и ткани, чтобы не допустить ни усадки, ни вытягивания рукавов при повышенных температурах

Натяжение рукавов должно контролироваться в течение всего периода их службы Внутри корпуса необходимо предусматривать условия для выполнения подтяжки рукавов

Сроки службы тканей изменяются в зависимости от условий применения, конструкции аппарата и качества его обслуживания Средние сроки службы рукавов составляют от 9 мес до 2 лет, хотя могут изменяться от нескольких недель до 10 лет Качество монтажа установки и ухода за рукавами и механизмами регенерации оказывает большое влияние на эти сроки

На металлургических заводах существует опасность попадания на поверхность тканей раскаленных или расплавленных крупных частиц, способных вывести из строя стеклянную ткань, а это связано с необходимостью замены рукавов Для осаждения крупных горячих частиц используются механические пылеуловители и встряхиваемые сетки

При высокой концентрации тонкодисперсных частиц перед фильтрацией их иногда укрупняют за счет коагуляции в циклонах При этом введение водяного пара в поток газов способствует агрегации пыли

При концентрации пыли выше 50 г/м³ перед фильтрами целесообразно устанавливать пылеосадительную камеру, циклоны или другие аппараты для улавливания грубых абразивных частиц

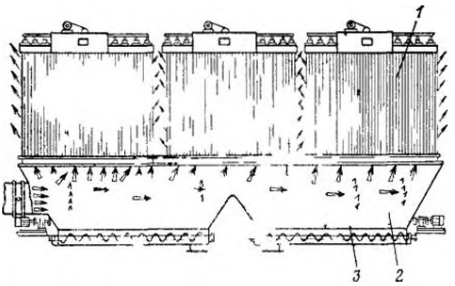


Рис 5 31 Принципиальная схема фильтра ЦА 3804

1 — рукав *2* — бункер, *3* — шнек

Конструкции тканевых фильтров

Фильтры ФР-6П, ФТ-2М, ФТНС-М, ЦА-3804 с регенерацией механическим встряхиванием применяются для очистки аспирационного воздуха от сухой волокнистой пыли на льно- и пенькозаводах, текстильных фабриках и в других производствах Рукава регенерируются с помощью ручного или электромеханического встряхивающего устройства, так как пыль легко удаляется при деформации тканей [5 36]

Фильтр ФР-6П устанавливается над

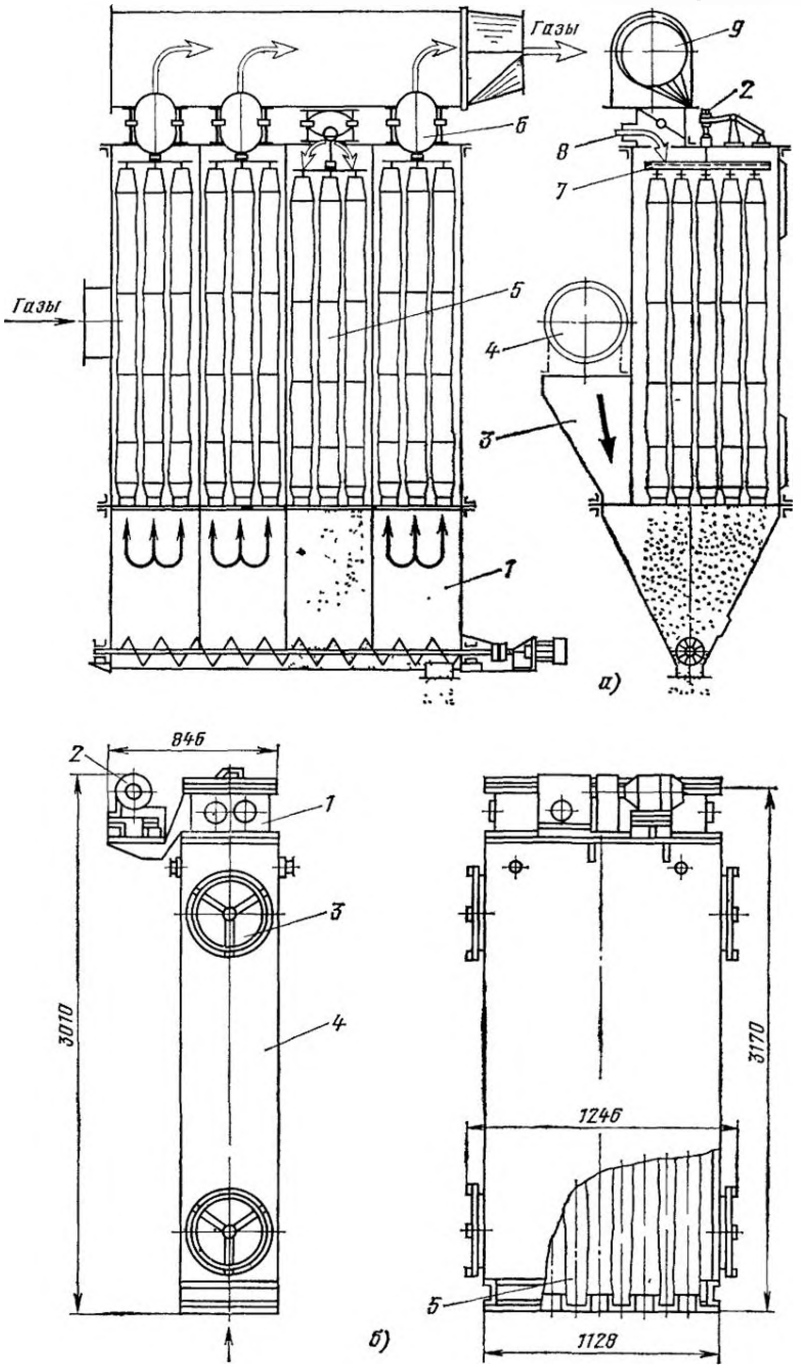


Рис 5 32 Рукавные фильтры типа Г4-БФМ и ФРУ1

а — фильтр типа Г4-БФМ· *1* — бункер; *2* — механизм встряхивания *3* — коллектор, *4* — газоход запыленных газов, *5* — секция фильтра, находящаяся на регенерации, *6* — клапан газов *7* — рама подвеса рукавов, *8* — продувочный клапан, *9* — выходной коллектор *б* — фильтр типа ФРУ1 *1* — камера механизма встряхивания *2* — механизм встряхивания; *3* — люк, *4* — корпус, *5* — рукав

бункером или камерой, в которые подводится запыленный воздух. Фильтр—открытого типа, работает под давлением. Периодическое встряхивание осуществляется механизмом с пневмоприводом в течение 2 мин; давление сжатого воздуха—0,1 МПа, расход—0,015 м³/мин; производительность фильтра — 3500—4000 м³/ч при сопротивлении 0,5—1,0 кПа. Целевое назначение фильтра ФР-6П — улавливание пуха.

Фильтр ФТ-2М (двухступенчатый модернизированный) в качестве первой ступени очистки газов имеет вращающийся сетчатый барабан, регенерируемый сбивным валиком, в качестве второй ступени установлено 12 тканевых рукавов, расположенных открыто и регенерируемых встряхиванием от отдельного электродвигателя. Производительность фильтра — 8—10 000 м³/ч при сопротивлении 0,5—0,6 кПа.

Фильтр ФТНС-М — фильтр конструкции Г. Н. Смирнова, тканевый, напорный, модернизированный. Запыленный воздух вентилятором нагнетается в верхний короб и поступает в открытые сверху рукава диаметром 386 мм, высотой 2,6 м. Снизу рукава также открыты для удаления уловленной на внутренней поверхности ру-

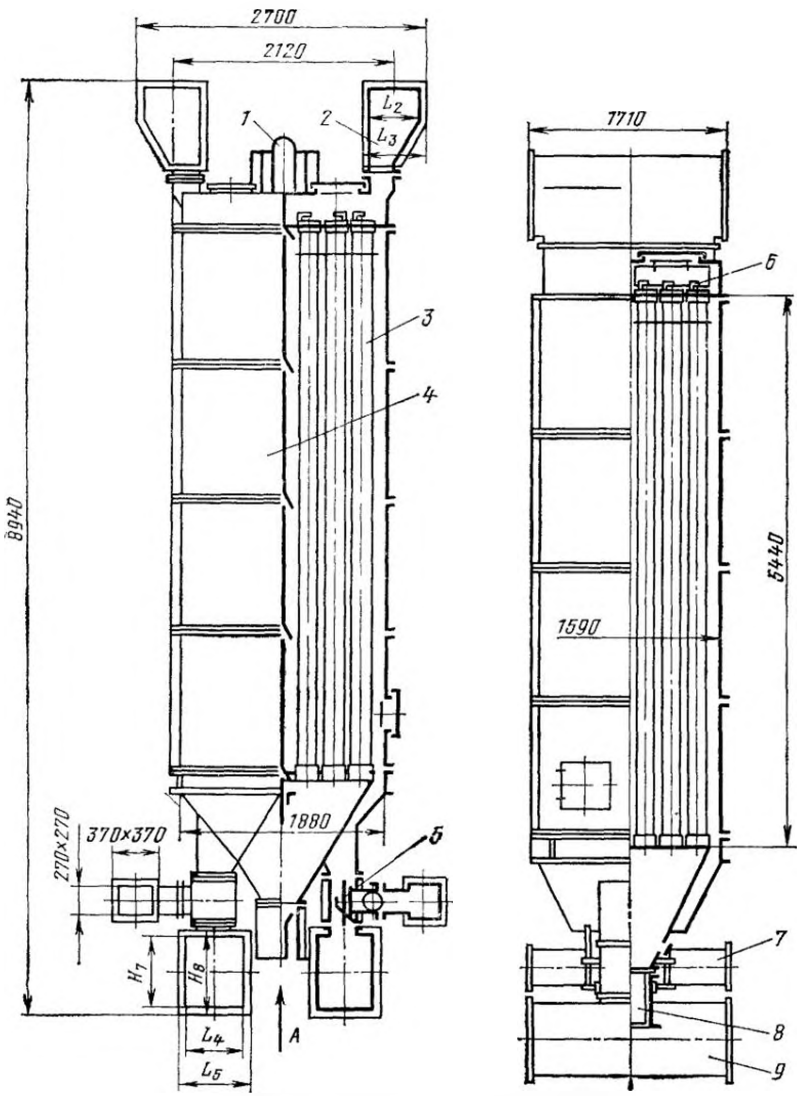


Рис. 5.33. Рукавный фильтр СМЦ-101А:

1 — механизм встряхивания; *2* — коллектор; *3* — рукав; *4* — корпус; *5* — клапан; *6* — подвеска; *7* — коллектор продувочного воздуха; *8* — затвор; *9* — коллектор

Таблица 5.16. **Фильтры с механическим встряхиванием в сочетании с обратной продувкой**

Наименование	Марка фильтра									
	ФРУ	Г4-1БФМ	Г4-2БФМ	ФРВ-20	ФРН 30	ФР 250	РФ1	СМЦ-101А	СМЦ-1666	УРФМ ПМ УРФМ-111
Площадь фильтрующей поверхности, м²	2,5—50	30; 45; 60; 90	60; 90	20	30	281	112; 168; 224; 280	55; 50; 115; 110; 205	30	2300; 1610
Количество секций, шт.	1—4	2; 3; 4, 6	4; 6	2	2	4	4; 6; 8; 10	2	2	20; 14
Количество рукавов, шт.	14; 28; 42; 56	36; 54; 72; 108	72; 108	32	48	288	56; 84; 112; 140	36	24	840 588
Диаметр рукава, мм	125	135	135	130	130	135	220	200	200	220
Высота рукава, мм	900; 1000; 1500; 2000; 2500	2090	2090	1630	1630	2300	3100	2450; 2200; 4900; 5100; 9100	2000	4063

Примечание. Заводы-изготовители: Кемеровский завод химического машиностроения — фильтры типа ФРУ ФРВ, ФРН, ФР; Щебекинский машиностроительный завод и Киевский завод цементного машиностроения — фильтры типа Г4; Куйбышевский завод „Строймашина" и Алма-Атинский завод тяжелого машиностроения — фильтры типа РФ, СМЦ, УРФМ.

кавов пыли, при встряхивании пыль периодически сбрасывается в ящики. Фильтры могут быть закрытого и открытого типов, так как каркас корпуса снабжен съемными щитами.

Фильтр после модернизации снабжен устройством электромеханического встряхивания, включаемого на 2—15 мин через 60—70 мин работы. Сопротивление фильтра —0,5—0,6 кПа Фильтры изготавливаются трех типоразмеров

Фильтр ЦА-3804 — высокопроизводительный аппарат (до 20 тыс. м³/ч) с регенерацией посредством перемещения верхних концов рукавов перпендикулярно их осям. Поверхность рукавов 4140 м²; разработаны фильтры для улавливания асбестовой пыли (рис 5.31).

Фильтры с механическим встряхиванием и обратной посекционной продувкой пока остаются наиболее распространенным типом фильтров и характеризуются подводом запыленных газов в открытые снизу рукава и принципиально одинаковым воздействием на рукава устройств механического встряхивания — перемещением верхних концов рукавов вдоль их оси (рис. 5.32,*а*) или в горизонтальном направлении

Конструкционно многие фильтры несущественно отличаются друг от друга

Фильтры Г4-БФМ (старое название ФВ), применяемые в основном на предприятиях пищевой промышленности, имеют корпус, выдерживающий разрежение 20 кПа, в то время как большинство ап-

Таблица 5.17. **Техническая характеристика фильтров типа ФР**

Наименование	Марка фильтра		
	ФР-518	ФР-5000	ФРДО-6500
Площадь фильтрующей поверхности, м²	518	5000	6500
Количество секций, шт.	6	8	10
Количество рукавов в фильтре, шт.	432	4032	2120
Диаметр рукавов, мм	127	127	130
Высота рукавов, мм	3000	3090	7850
Габаритные размеры, м	14,4×3,68×9,55	29×7,36×15	22,3×7,58×15,9
Масса, т	25,88	124,3	129

паратов рассчитаны на давление 2,5 кПа Для фильтров ФРУ и ФРМ-30 корпуса пригодны для работы при разрежении соответственно 30, 60 и 80 кПа

Фильтры ФРУ, ФРВ-20 и ФРН-30 не имеют бункеров и устанавливаются над пылевыделяющими устройствами Для обратной продувки атмосферным воздухом фильтры ФРВ 20, ФРН-30, Г4 ВФМ и РФГ снабжены клапанными коробками и эксплуатируются на разрежении

Фильтры ФРУ, ФР-250, УРФМ и СМЦ-101А могут работать под разрежением или давлением, поскольку обратная продувка в них осуществляется только с помощью тягодутьевой машины (рис 5 32,*б*, 5 33)

Привод системы встряхивания и переключения клапанов продувки всех фильтров производится от электродвигателей за исключением фильтров УРФМ, комплектуемых пневмоприводами Основные технические параметры фильтров, регенерируемых встряхиванием с одновременной обратной продувкой, приведены в табл 5 16

Области применения в промышленности фильтров данной группы фильтры ФРУ — пневмотранспортные взрывоопасные системы химической промышленности, фильтры Г4-БФМ — аспирационные устройства и пневмотранспорт различных производств, фильтры ФР-250 — аспирационные системы производств сажи и удобрений, фильтры ФРВ-20, ФРН-30, ФВС-45 — различные операции химических производств, фильтры СМЦ — производство цемента и других строительных материалов, фильтры РФГ и УРФМ — цветная металлургия

Фильтры типа ФР и ФРДО с обратной посекционной продувкой просты по устройству, поскольку в них отсутствует механизм встряхивания Фильтры различаются между собой в основном длиной рукавов, устройством газовых клапанов и системой управления

Фильтры типа ФР (табл 5 17) характеризуются подводом газов в открытые снизу рукава и наличием дроссельных клапанов на коллекторах очищаемого и продувочного газов, система переключения которых приспособлена под пневмоавтоматику, так как применяются стеклотканевые фильтры для технологической очистки взрывоопасной сажегазовой смеси при температуре 240°С под давлением Удаление улавленной сажи с рукавов осуществляется обратной продувкой очищенным газом с помощью вентилятора Выгрузка сажи из бункеров выполняется шлюзовыми затворами (рис 5 34)

Фильтры устанавливаются в здании Фильтр ФР-5000 может быть размещен и на открытом воздухе, но при этом верх фильтра закрывают утепленным шатром и бункерную часть располагают в утепленном помещении

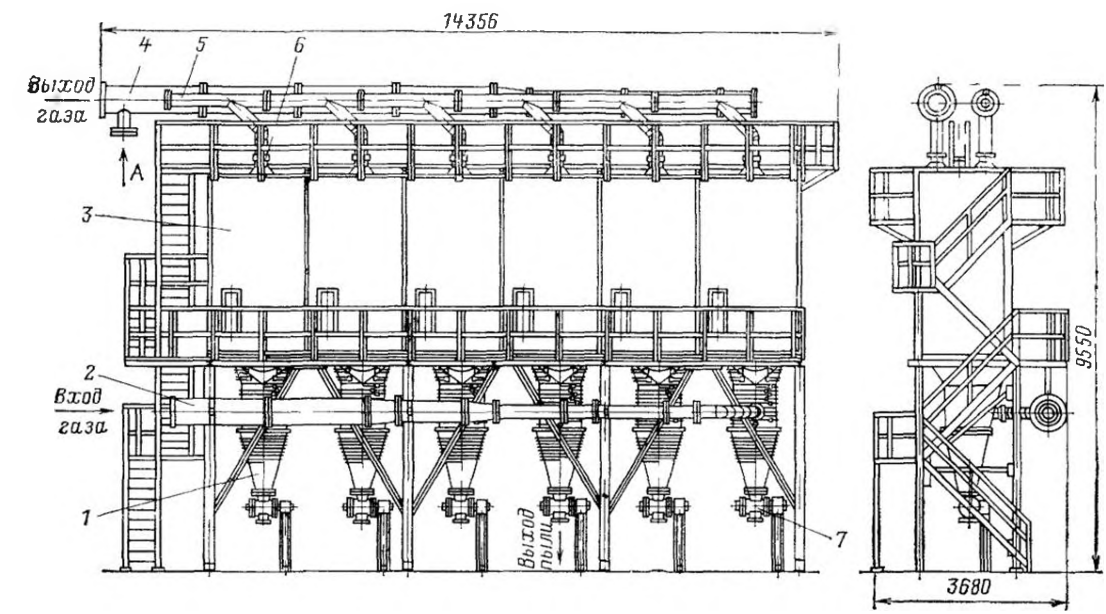


Рис 5 34 Рукавный фильтр ФР 518

1 — бункер; *2* — распределительный коллектор, *3* — корпус; *4* — сборный коллектор, *5* — коллектор обратной продувки, *6* — дроссельная заслонка, *7* — шлюзовой затвор

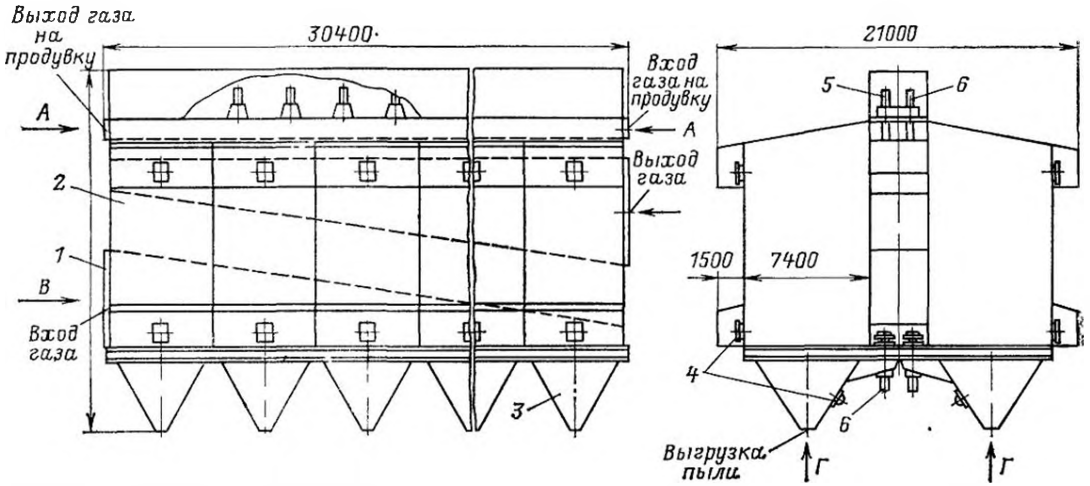


Рис. 5.35. Рукавный фильтр типа ФРО третьей габаритной группы (размеры указаны для фильтра ФРО-24000-3):

1 — коллектор входа газа; *2* — корпус; *3* — бункер; *4* — люки; *5* — клапан продувочного газа; *6* — клапан запыленного газа

Фильтры типа ФРО предназначены для улавливания различных пылей и возгонов при температурах до 230°С в цветной и черной металлургии, на машиностроительных заводах и в других отраслях промышленности при объемах очищаемых газов свыше 50 тыс. м³/ч.

Отличительной особенностью фильтров типа ФРО является использование рукавов большого диаметра и длины с нижним подводом газов, а также применение клапанов тарельчатого типа с приводом от пневмоцилиндров для переключения секций на регенерацию (рис. 5.35).

В качестве фильтрующих материалов используется лавсан (при скорости фильтрации $w=0{,}7\div1{,}2$ м/мин), стеклоткань (при $w=0{,}3\div0{,}5$ м/мин) и другие ткани.

Корпуса фильтров рассчитаны на разрежение до 6 кПа. Аппараты могут быть установлены в здании или на открытой площадке, но в этом случае крышу корпуса теплоизолируют, а нижнюю часть до опорного пояса размещают в утепленном помещении. Корпус аппарата изготавливается из отдельных частей, сваривaемых на месте установки.

Техническая характеристика фильтров типа ФРО приведена в табл. 5.18. Фильтры изготавливаются Семибратовским заводом газоочистительной аппаратуры.

Фильтры типа СМЦ оборудованы открытыми с двух сторон рукавами, закрепленными на верхней и нижней решетках, причем запыленный газ подводится сверху внутрь рукавов. Секции всех трех типоразмеров разделены перегородками на две камеры, содержащие по 18 рукавов различной длины (2,25; 4,5 и 9 м). Фильтры подразделяются на два вида: фильтры с регенерацией за счет одной обратной продувки сжатым воздухом, вводимым в межрукавное пространство (фильтры типа РС), или воздухом низкого давления (фильтры типа РП) и фильтры с механизмом встряхивания (фильтры типа РВ), изготавливаемые в двух габаритах и при-

Таблица 5.18. **Техническая характеристика фильтров типа ФРО**

Наименование	ФРО-2400-1	ФРО-6000-2	ФРО-2000-3
Площадь поверхности фильтрации, м²	2400	6000	20 000
Количество рукавов, шт.	504	648	2160
Количество секций, шт.	12	12	10
Высота рукава, м	8	10	10
Диаметр рукава, мм	200	300	300
Гидравлическое сопротивление фильтра, кПа	1—2		
Габаритные размеры, мм:			
длина	9600	18 600	30 200
ширина	6810	9810	18 800
высота	16 750	18 360	23 480
Масса, т	75,59	162,8	540

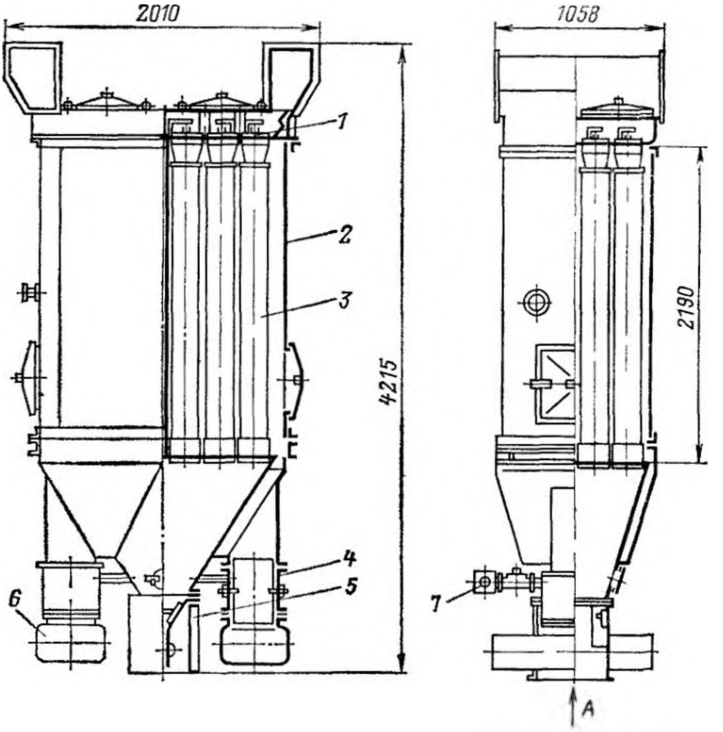


Рис 5 36 Рукавный фильтр СМЦ-166Б

1 — подвеска, *2* — корпус, *3* — рукав; *4* — клапан, *5* — затвор, *6* — отводящий коллектор, *7* — коллектор сжатого воздуха

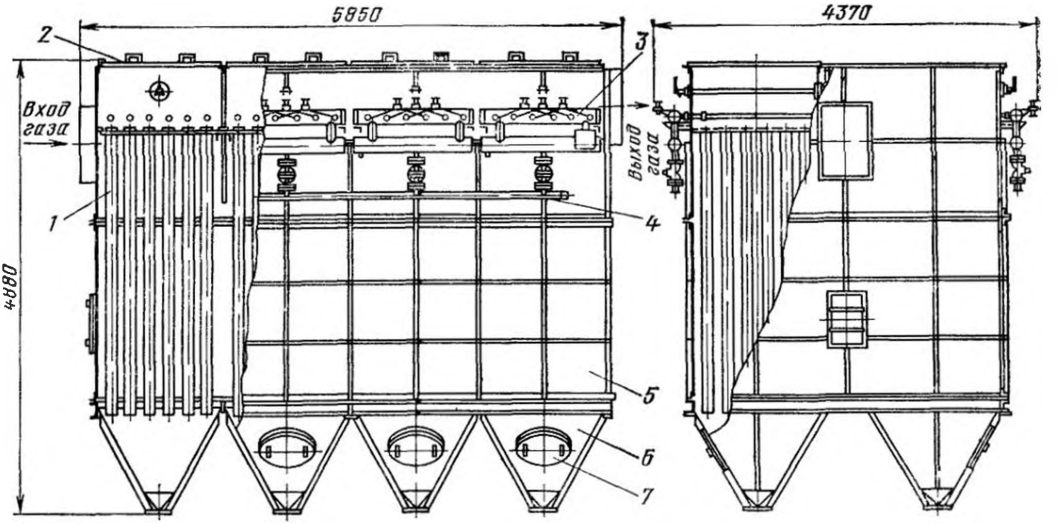


Рис 5 37 Рукавный фильтр ФРКИ-360

1 — рукав; *2* — крышка; *3* — клапанная секция; *4* — коллектор; *5* — корпус; *6* — бункер; *7* — люк

Таблица 5.19. **Техническая характеристика фильтров типа ФРКИ**

Наименование	Марка фильтра				
	ФРКИ-30; ФРКН-В-30	ФРКИ-60; ФРКН-В-60	ФРКИ-90; ФРКН-В-90	ФРКИ-180	ФРКИ-360
Площадь поверхности фильтрации, м²	30	60	90	180	360
Количество рукавов, шт.	36	72	108	144	288
Диаметр рукава, мм	135				
Высота рукава, м	2	2	2	3	3
Количество электромагнитных клапанов, шт.	6	12	18	24	48
Количество секций, шт.	1	2	3	4	8
Гидравлическое сопротивление, кПа	1,2—2,0				
Давление продувочного воздуха, МПа	0,3—0,6				
Наибольший расход сжатого воздуха, м³/ч	10; 7*	20; 15*	30; 22*	60	120
Рабочее давление (разрежение) в аппарате, кПа	До 5				
Габаритные размеры, мм:					
длина	1458	2820	4140	5480	5850
ширина	2060	2060	2060	2060	4370
высота	3595	3595	3595	4595	4880
Масса, т	1,28	2,06	2,99	4,58	8,86

* Для фильтров типа ФРКН-В.

Примечание. Заводы-изготовители: Семибратовский экспериментальный завод газоочистительной аппаратуры, пос. Семибратово Ярославской обл. — фильтры типа ФРКИ; Кемеровский завод химического машиностроения — фильтры типа ФРКН-В.

меняемые в особых случаях по согласованию с ЦНИИЦемент.

Фильтры СМЦ-166Б (рис. 5.36) имеют рукава длиной 2 м и регенерируются сжатым воздухом с использованием энергии струи сжатого воздуха для автоматического закрытия клапана. В фильтрах типа СМЦ используются синтетические ткани (лавсан, нитрон и др.).

Фильтры типа ФРКИ с импульсной продувкой каждого каркасного рукава. Фильтры разработаны НИИОГаз и имеют универсальное назначение: применяются в промышленности строительных материалов, на предприятиях химической и пищевой промышленности, черной и цветной металлургии.

Фильтры ФРКИ-30, ФРКИ-60 и ФРКИ-90, состоящие соответственно из одной, двух и трех секций, имеют одинаковую высоту рукавов — 2 м. Количество секций в фильтрах ФРКИ-180 (однорядных) и ФРКИ-360 (двухрядных) увеличено соответственно до 4 и 8, а высота рукавов — до 3 м. Вход запыленного газа в корпус — через боковые стенки бункеров; выход газа — сверху. Исключение составляет фильтр ФРКИ-360, в котором входной и выходной штуцера расположены сверху. Характеристики фильтров даны в табл. 5.19, а общий вид — на рис. 5.37.

Регенерация фильтров осуществляется без отключения секций импульсами сжатого воздуха, поступающего внутрь рукавов сверху через отверстие в продувочных коллекторах. Длительность импульсов 0,1—0,2 с, подача импульсов обеспечивается электромагнитными клапанами, которые управляются системой автоматики.

Рукавные фильтры, регенерация которых производится сжатым воздухом с давлением 0,3 и 0,6 МПа, конструктивно различаются диаметром отверстий на продувочных трубах. При заказе фильтров следует указывать требуемое давление сжатого воздуха.

Фильтрующие материалы — лавсан (арт. 216 и 217, ТУ 17 РСФСР 8174-75; арт. 86031, ТУ 17 РСФСР 8053-75; арт. 86013, ОСТ 17-452-74), а также войлоки из синтетических волокон.

Фильтры типа ФРКН-В предназначены для улавливания электризующихся пылей, образующих горючие среды с энергией зажигания более 1 МДж. Фильтры по своему устройству аналогичны фильтрам типа ФРКИ, однако изготавливаются с поверхностью фильтрации только 30, 60 и 90 м². Регенерация фильтров производится сжатым воздухом с давлением 0,6 МПа.

Фильтры типа ФРКН-Н-В могут быть установлены во взрывоопасных помещениях. Возможность применения фильт-

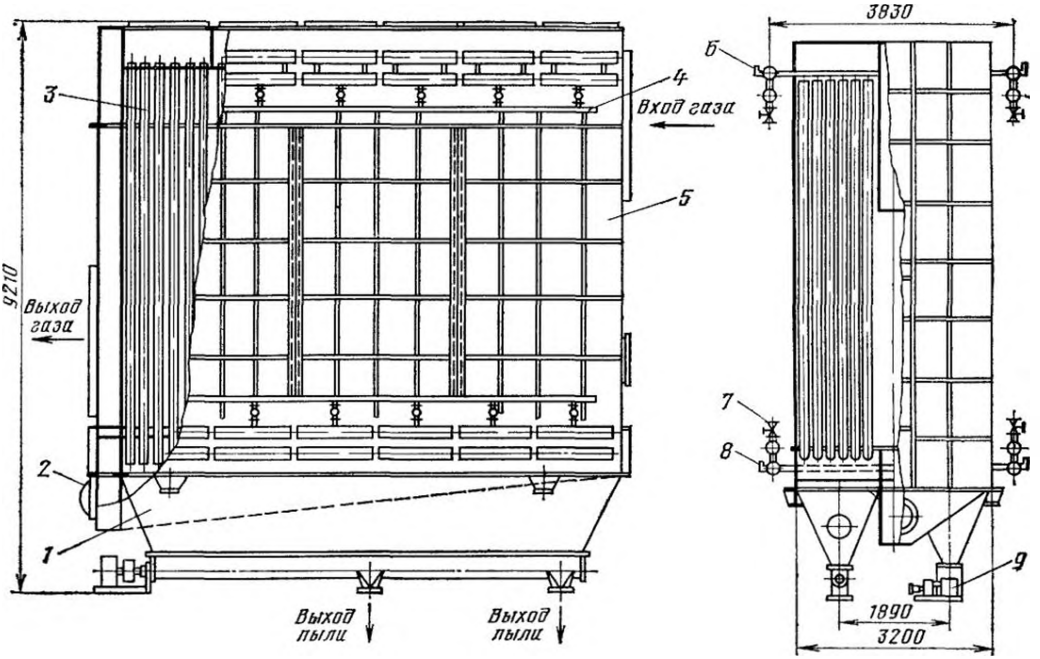


Рис. 5.38. Рукавный фильтр типа ФРКДИ·

1 — бункерная часть корпуса; *2* — люк; *3* — рукав; *4* — коллектор; *5* — корпус; *6* — клапанная секция; *7* — фланцевый вентиль; *8* — клапанная секция; *9* — винтовой транспортер

ра должна быть согласована с институтом Гипрогазоочистка и органами пожарного надзора.

Технико-экономическое сравнение фильтров типа ФРКН с фильтрами ФРУ-50; ФР-250, ФВС, получившими распространение в химической промышленности, показывает, что за счет более высокой удельной нагрузки на фильтровальную поверхность при пересчете на 1000 м³

Таблица 5.20. **Техническая характеристика фильтров типа ФРКДИ**

Наименование	Марка фильтра			Наименование	Марка фильтра		
	ФРКДИ-550	ФРКДИ-720	ФРКДИ-1100		ФРКДИ-550	ФРКДИ-720	ФРКДИ-1100
Площадь поверхности фильтрации, м²	550	720	1100	Наибольший расход сжатого воздуха, м³/ч	150	200	300
Количество рукавов, шт.	216	288	432	Рабочее давление (разрежение) в аппарате, кПа	—	До 5	—
Диаметр рукава, мм	135	135	135				
Высота рукава, м	6	6	6				
Количество электромагнитных клапанов, шт.	72	96	144	Габаритные размеры, мм:			
Гидравлическое сопротивление, кПа	1,2—1,8	1,2—1,8	1,2—1,8	длина	4940	6280	8955
				ширина	4340	4340	4340
				высота	9180	9180	9180
Давление продувочного воздуха, МПа	0,6	0,6	0,6	Масса, т	18,4	22,5	31,3

Примечание. Завод-изготовитель — Семибратовский экспериментальный завод газоочистительной аппаратуры (пос. Семибратово Ярославской обл.).

Таблица 5.21 **Типоразмеры фильтров типа РФОСП**

Количество рукавов, шт	Длина рукавов м	Площадь поверхности фильтра м²	Производительность, м³/ч	Габаритные размеры, м: длина × ширина	Габаритные размеры, м: высота	Масса, т
2	1	1,9	0,6	1,6×0,9	3	1,5
	2	3,8	1,1		4	2,1
	3	5,6	1,7		5	2,4
	4	7,5	2,2		6	2,7
	5	9,4	2,8		7	3,0
4	3	11,2	3,4	1,6×1,4	5	3,2
	4	15,0	4,5			3,6
	5	18,8	5,6			3,9
8	2	15,0	4,5	2,7×1,4	4,5	3,2
	3	22,4	6,7		5 5	3,9
	4	30,0	9,0		6,5	4,4
	5	37,6	11,3		7,5	4,9
16	3	44,8	13,5	3,5×2,5	5,8	7,3
	4	60,0	18,0		6,8	8,0
	5	75,2	22,6		7,8	8 9
24	4	90,0	27,0	4,5×2,7	7,4	9,9
	5	113,0	34,0	4,5×2,7	8,4	10,7
	6	136,0	41,0	4,5×2,7	9,4	11,5

очищаемого газа в 1 ч масса аппаратов уменьшается на 30—35%, занимаемая площадь — на 40—50%

Фильтры типа ФРКДИ каркасные с двусторонней импульсной продувкой отличаются от фильтров типа ФРКИ большей высотой рукавов (6 м), открытых с двух сторон, и дополнительной установкой продувочных сопл в нижних частях каждого рукава (рис 5 38). Техническая характеристика фильтров дана в табл 5 20

Фильтры рукавные типа РФОСП и РФСП с обратной струйной продувкой, основные характеристики которых были даны ранее, применяются в цветной металлургии для улавливания возгонов свинца и других токсичных металлов [5 35, 5 40] при низких входных концентрациях пыли В настоящее время в промышленности применяются фильтры двух конструкций типа РФОСП, разработанные институтами Гипрогазоочистка и НИИОГаз [5 1], и типа РФСП-II, разработанные институтом Гинцветмет и Чимкентским свинцовым заводом Данные по фильтрам типа РФОСП представлены в табл 5 21

На рис 5 39 показан фильтр типа РФСП-II с поверхностью фильтрации 370 м², содержащий по 22 рукава в каждой из четырех секций Высота рукавов 4,8 м, диаметр 300 мм Обратная продувка

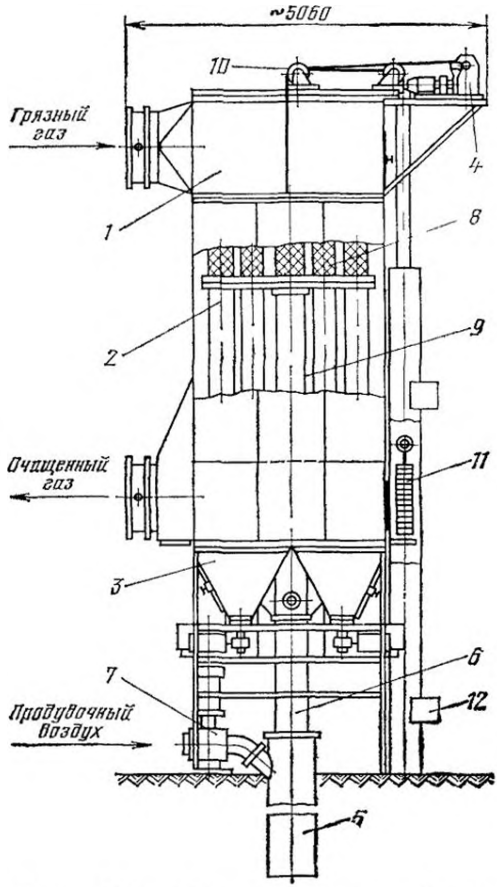


Рис 5 39 Схема рукавного фильтра РФСП II

1 — камера грязного газа *2* — рукава *3* — бункера, *4* — лебедка *5* — наружная труба телескопа *6* — внутренняя труба *7* — клапан *8* — рама каретка *9* — камера чистого газа *10* — двойной блок, *11* — противовес *12* — конечный выключатель

осуществляется с помощью рамы-каретки с 22 отверстиями по диаметру и с кольцеобразной щелью шириной 2 мм по периферии каждого кольца для струйной продувки

Воздух в раму каретку подается через клапан *7*, затем через телескопическую систему, состоящую из двух труб — наружной *5* и внутренней подвижной *6*, поступает в каретку Рама-каретка перемещается с помощью двух тросов и лебедки *4* Давление продувочного воздуха 10—35 кПа, секции регенерируются последовательно

Фильтры типа РФСП-II обеспечивают снижение концентрации возгонов свинца с 300—500 мг/м³ до 2—4 мг/м³ при скорости фильтрации 3—5 м/мин

В настоящее время разработаны фильтры с площадью фильтрации 1580 м²

[5.35, 5.40]. В фильтрах РФСП-II применена двухслойная ткань из волокна лавсан по ТУ 17 РСФСР 8053-75 со сроком службы около 2 лет. Габаритные размеры 25750×7740×11 700 мм, масса 180 т.

5.6. ЗЕРНИСТЫЕ ФИЛЬТРЫ

Для очистки газов фильтрующие слои, состоящие из зерен сферической или другой формы, применяются значительно реже, чем волокнистые материалы. Преимуществами зернистых фильтров являются возможность их работы при температурах до 500—800 °С и в условиях агрессивной среды, способность выдерживать большие механические нагрузки и перепады давлений, а также резкие изменения температуры.

Различают следующие типы зернистых фильтров:

зернистые насадочные (насыпные) фильтры, в которых улавливающие элементы (гранулы, куски и т. д.) не связаны жестко друг с другом. К этим фильтрам относятся статические (неподвижные) слоевые фильтры, динамические (подвижные) слоевые фильтры с гравитационным перемещением сыпучей среды, псевдоожиженные слои;

жесткие пористые фильтры, в которых зерна прочно связаны друг с другом в результате спекания, прессования или склеивания и образуют прочную неподвижную систему. К этим фильтрам относятся пористая керамика, пористые металлы, пористые пластмассы.

Зернистые насыпные фильтры. В качестве насадки в насыпных фильтрах используют песок, гальку, шлак, дробленые горные породы, древесные опилки, кокс, крошку резины, пластмасс и графита и другие материалы. Выбор материалов для насадок обусловливается требуемой термической и химической стойкостью, механической прочностью, доступностью. Широко применяются природные и сырьевые материалы, встречающиеся в готовом виде, и различные отходы производства. Но чаще насадки готовятся специально путем дробления и просеивания для получения требуемых фракций

В двухступенчатых системах высокоэффективной очистки воздуха от токсичных пылей можно использовать в качестве предфильтров зернистые слои, а в качестве замыкающих — фильтры с материалами типа ФПП [5.6, 5.43].

Зернистые фильтры снаряжаются при этом крошкой из резины, винипласта, графита или древесными опилками При накоплении в порах насадки улавливаемых частиц эффективность очистки повышается Но в период образования такого эффективно фильтрующего слоя фильтры второй ступени работают при повышенной концентрации пыли. Максимальный эффект фильтрации достигается при улавливании конденсационных аэрозолей, частицы которых интенсивно коагулируют в слое. При возрастании сопротивления до предела, допускаемого вентилятором, производят рыхление слоя гребковым механизмом.

После ряда циклов рыхления наступает момент, когда эта операция не дает заметного снижения Δp. Тогда насадку меняют или (при улавливании растворимых аэрозолей) промывают водой непосредственно в аппарате. В зависимости от размеров фильтра рыхление проводят вручную или механически с приводом от электродвигателя.

Размер зерен в рассматриваемых фильтрах составляет 0,2—2 мм; воздух направляется сверху вниз. Нагрузку по воздуху в зависимости от исходной концентрации $c_{вх}=1\div20$ мг/м³ принимают от 2,5 до 17,0 м³/(м²·мин); начальное сопротивление составляет от 50 до 200 Па Высота слоя на сетках выбирается в пределах от 0,10 до 0,15 м.

Установки зернистых фильтров, регенерируемых путем ворошения или вибрационной встряски зернистого слоя внутри аппарата, состоят из нескольких параллельно включенных камер, соединенных газоходами для неочищенного и очищенного газов (рис. 5.40). Каждая камера может отключаться вращающейся дроссельной заслонкой для регенерации

Слой зерен находится в стальном контейнере с сетчатым дном площадью 1,5 м². Контейнер установлен на четырех пружинах и соединен с вибратором штоком, расположенным в стальном или резиновом сильфоне. Уплотнение контейнера в корпусе осуществляется эластичной тканью (на основе асбеста, обработанного силиконом), выдерживающей температуру до 350 °С).

Фильтрующая среда состоит из двух слоев: нижнего слоя из стальной токарной стружки с малым сопротивлением и слоя толщиной 150 мм из гравия (дробленого шамотного огнеупорного кирпича), природного песка или гальки размером от 1 до 6 мм. Гравий, содержащий SiO_2 до 95% и выше, устойчив к истиранию.

Регенерация зернистого слоя, забитого пылью, осуществляется после закрытия заслонки очищенного газа и открытия клапана продувочного воздуха, который засасывается из-за имеющегося в аппарате разрежения и способствует удалению пыли. Пыль при вибрации контейнера падает в бункер и удаляется шнеком. Доступ в камеру для осмотра обеспечивают люки.

Установки слоевых фильтров, скомбинированных с циклонами и регенерируемых путем ворошения слоя грубозернистого песка с одновременной продувкой [5.41, 5.44], содержат от 4 до 42 камер, располагаемых для экономии площади в два

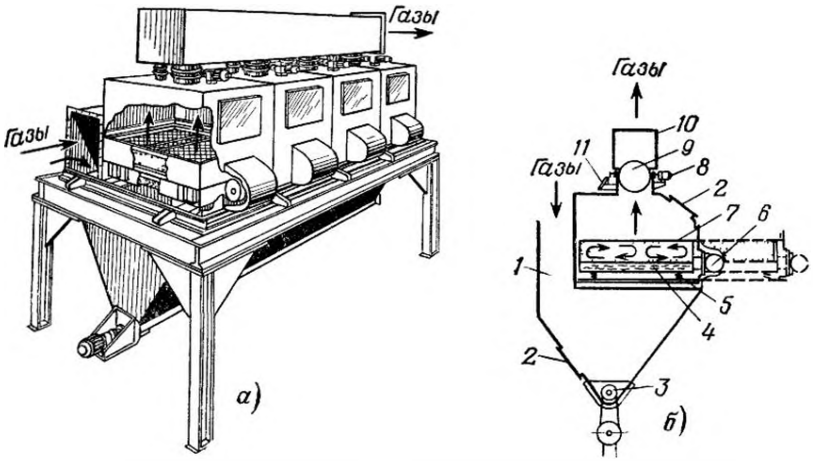


Рис 5 40 Четырехкамерный гравийный фильтр Лурги с вибрационной регенерацией:
а — общий вид фильтра; *б* — разрез фильтра; *1* — входной патрубок; *2* — люк; *3* — шнек; *4* — слой стружки; *5* — пружина; *6* — вибратор, *7* — слой гравия; *8* — электродвигатель, *9* — заслонка для очищенного газа; *10*— патрубок для очищенных газов; *11* — клапан продувочного воздуха

ряда. Управление работой фильтров полностью автоматизировано.

Гравийные фильтры предназначены для очистки газов от пылей механического происхождения (от дробилок, грохотов, сушилок, мельниц, транспортирующих устройств) и применяются при получении цемента, извести, гипса, фосфорных удобрений и в других производствах при наличии абразивной пыли и агрессивных газов или веществ, плохо улавливаемых в электрофильтрах и других пылеуловителях Но трудноудаляемые липкие пыли в этих фильтрах нельзя очищать.

Скорость фильтрации газа в зависимости от типа и размера зерен составляет от 17 до 50 м/мин, газодинамическое сопротивление фильтров находится в пределах от 0,5 до 1,5 кПа. При начальной концентрации пыли более 12 г/м^3 перед гравийными фильтрами устанавливают циклоны. Остаточное содержание пыли в очищенных газах обычно составляет от 10 до 100 мг/м^3, эффективность очистки — от 99 до 99,8%.

Фильтры с движущейся средой. Свойство сыпучести зернистых материалов используется для создания фильтров с движущейся средой и периодическим или непрерывным удалением из установки на регенерацию слоя зерен, забитого пылью. Обычно материал перемещается между сетками или жалюзийными решетками под действием гравитационных сил. Регенерация выгруженного материала от уловленной пыли проводится в отдельном аппарате грохочением или промывкой в восходящем потоке воды зерен, находящихся в псевдоожиженном состоянии.

На рис. 5.41 схематически показана опытная установка с несколькими последовательно расположенными зернистыми слоями. Если фильтрующая среда состоит из того же материала, что и улавливаемая пыль, загрязненные гранулы выводят из системы газоочистки и используют в технологическом процессе.

Зернистые жесткие фильтры. Керамические (поролитовые), металлопористые (металлокерамические) и другие жесткие пористые фильтры устойчивы к высокой температуре, коррозии и механическим нагрузкам. Однако существенными недостатками жестких фильтров по сравнению

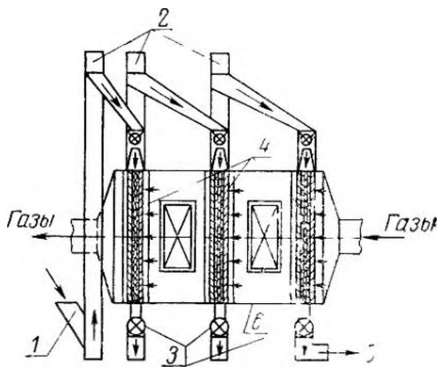


Рис. 5.41 Фильтр с движущимися слоями зернистого материала:
1 — короб для подачи свежего зернистого материала; *2* — питатели; *3* — затворы; *4* — фильтрующие слои; *5* — короб для вывода запыленного материала, *6* — люки

с тканевыми являются высокая стоимость, большое гидравлическое сопротивление и трудность осуществления многократной регенерации, что существенно сокращает срок их службы [5 45, 5 50]

Жесткие пористые элементы могут регенерироваться следующими методами

продуванием воздуха или газа в направлении, противоположном рабочему потоку

пропусканием жидких растворов в обратном движению газов направлении, иногда при одновременном воздействии на жидкость ультразвуком,

пропусканием горячего пара (при забивании фильтров парафином) или струи горячих газов для выжигания смолистых примесей,

простукиванием или вибрацией трубной решетки с элементами устанавливаемой на эластичном уплотнении или самих элементов закрепленных на перегородке с помощью резиновых патрубков

Трудность регенерации жестких фильтров вызвана глубоким проникновением высокодисперсных частиц в поры при полном удалении слоя пыли с поверхности При этом остаточное сопротивление непрерывно увеличивается, и периодически возникает необходимость демонтажа элементов для более глубокой промывки в специальных растворах или очистки другими способами Значительно экономичнее и надежнее работа жестких пористых фильтров при отсутствии в аэрозоле субмикронных частиц, достаточно низкой исходной концентрации пыли и использовании таких методов регенерации, при которых слой уловленной пыли не удаляется полностью с их поверхности [5 49]

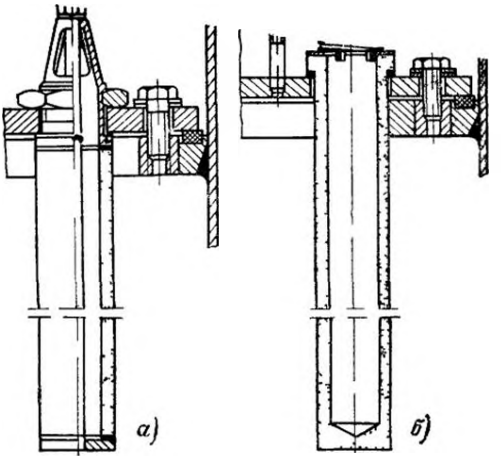


Рис 5 42 Крепление керамических цилиндрических патронов в съемной трубной решетке

а — стяжной шпильной *б* — поджатием пружиной

Жесткие пористые фильтры редко применяются в системах очистки воздуха или газов большой производительности, так как сопротивление их велико и низка скорость фильтрации Фильтры применяются

Таблица 5 22 **Характеристика фильтрующих керамических элементов и их назначение**

Диаметр пор мкм	Кажущаяся пористость %	Предел прочности при сжатии МПа	Типовые размеры керамических изделий, мм			Назначение
			Наружный диаметр	Внутренний диаметр	Высота	
80±20	25—35	15	50±2	20±1	130±2	Для очистки воздуха от пыли и частиц масла
80±10	30—40	15	50±1	30±1	760±3	Для очистки воздушно-аммиачной смеси
120±20	30—40	10	89±2	50±2	305±5	Для очистки газов от пыли адсорбентов
50±5	25—35	18	64±1 45—1 35±1	25±1 19—1 12±0,5	102±1 102±1	Для очистки кислорода от графитовой пыли
1—2	30—50	30	40+1 / 38±1	37+1 / 35±1	319±3	Для очистки газов от тонкодисперсного кремнезема

для фильтрации сжатых газов, когда требуется выдержать высокий перепад давлений, а также при температурах 300—500 °С

Металлопористые зернистые фильтры обладают высокой стойкостью к резким изменениям температуры (термоударам) и применяются для очистки небольших объемов газов, при этом элементы фильтров устанавливают в отдельных корпусах или технологических аппаратах (в сосудах с псевдоожиженным слоем, в печах сушки и прокалки, в реакторах и т п)

Керамические фильтры Керамические изделия для керамических фильтров— патроны, пластины или диски получают спеканием отсортированных зерен шамота, кварцевого песка, асбеста и других природных минералов Керамические пористые изделия хрупки Для увеличения их прочности стенки патронов изготавливаются значительной толщины 6—10 мм (иногда и больше), но при этом увеличивается их гидравлическое сопротивление Длина патронов составляет от 0 5 до 1 2 м, диаметр — от 50 до 80 мм, общая пористость — от 35 до 55%, предел прочности на сжатие — от 15 до 25 МПа, предел прочности при изгибе — от 4 до 15 МПа Обжиг керамики проводят при температуре от 900 до 1300 °С

Патроны могут быть открытыми с обоих концов или с закрытым дном, сверху обычно предусматриваются бурты для крепления Патроны закрепляются в трубной решетке стяжными шпильками (рис 5 42,*а*) с поджатием сверху в случае закрытых патронов (рис 5 42 *б*) или с помощью самоуплотняющих байонетных соединений Патроны собираются на перегородке в виде блоков, монтируемых затем в корпус установки Керамика стойка к воздействию большинства химических агентов, кроме горячих щелочей, фосфорной и плавиковой кислот

В табл 5 22 приведены характеристики керамических фильтрующих изделий предназначенных для очистки воздуха и газов [5 46, 5 47]

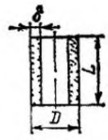
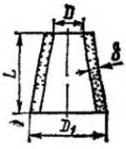
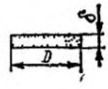
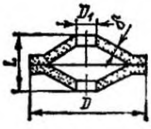
Скорость фильтрации в зависимости от вида керамики, концентрации и свойств пыли, а также от располагаемого давления в системе составляет от 0 01 до 0 5 м/с

Керамические фильтры применяются для очистки технологических газов внутри аппаратов (газов крекинга, аммиака в производстве азотной кислоты и в других газокаталитических процессах), в системах газоснабжения (для очистки природных или синтетических газов), для очистки сжатого воздуха, применяемого при окраске методом распыления, для обеспыливания сжатых газов (хлора, двуокиси углерода)

Металлокерамические фильтры [5 45] Исходным материалом для изготовления металлокерамических фильтров служат металлические порошки из зерен шарообразной формы с гладкой поверхностью или порошки из зерен несферической формы с шероховатой поверхностью, в последнем случае механическая прочность материалов выше Порошки изготавливаются из нержавеющих сталей (Х18Н9, Н17Н2, Х18Н12М2Т), бронзы меди, никеля, титана, монеля, нихрома, алюминия вольфрама и других металлов

Металлокерамические фильтрующие материалы получают методом прессования или прокаткой с последующим спеканием при высокой температуре (800—1300 °С) в виде цилиндрических элементов высотой 80—100 мм с толщиной стенок 2—5 мм, трубок разного диаметра, лент шириной 300—400 мм и листов больших размеров

Таблица 5 23 **Размеры фильтрующих элементов**

Фильтрующий элемент	Размер, мм			
	D	δ	L	D_1
	40	3	80	—
	40	3	100	—
	40	3	500	—
	90	10	120	—
	10	1	200	—
	90	5	100	—
	25	2	95	33
	25	3	95	33
	52	2	95	60
	52	3	95	60
	52	3	120	60
	60	1	—	—
	10	1	—	—
	25	2	—	—
	50	2	—	—
	90	3	—	—
	150	3	—	—
	52	2	7	25
	52	2	5	12
	96	2	9	37
	96	3	9	37
	8	1	15	4
	14	1	25	7
	25	2	40	10
	30	2	50	24
	20	2	100	10

толщиной от 0,35 до 2,5 мм Листы можно гофрировать, сгибать в трубы; из листов можно вырезать также диски или элементы другой формы.

Металлокерамические цилиндрические элементы (МКЭ) соединяются в длинные трубы-сборки аргонодуговой или диффузионной сваркой, а также методом спекания Элементы более прочны и пластичны чем керамические фильтры, и лучше сопротивляются ударным нагрузкам Однако стоимость их в 10 и более раз выше, чем керамических Фильтрующие свойства металлокерамических элементов также лучше, чем керамических, кроме того, их можно сваривать, паять склеивать, подвергать механической обработке на станках Изделия, получаемые прессованием, характеризуются более высокой эффективностью очистки газов, чем изделия, получаемые спеканием при одинаковой пористости

Размеры наиболее распространенных фильтрующих элементов металлокерамических фильтров разной формы даны в табл 5 23

Нагрузки по газу в металлокерамических фильтрах могут изменяться от 0,2 до 10 м³/(м²·мин) при газодинамическом сопротивлении от 0,1 до 6 кПа Поэтому фильтры громоздки, например, при производительности 0,1 м³/с фильтр имеет диаметр 1,2 и высоту 1 8 м

Так как на жесткой поверхности образуется однородный пылевой слой, то эффективность улавливания в этих фильтрах, даже по субмикронным частицам, высока Металлокерамические элементы из порошка с размером частиц от 75 до 150 мкм практически полностью задерживают частицы более 1 мкм Остаточная концентрация обычно составляет при этом менее 1 мг/м³

Регенерация фильтров осуществляется обратной продувкой или импульсами сжатого воздуха или газа с давлением от 0,6 до 1 МПа с длительностью от 0 1 до 0 5 с. Воздух для регенерации может подаваться внутрь корпуса фильтра через сопла или непосредственно внутрь каждого элемента

Оптимальным условиям регенерации обратной продувкой отвечает отношение скорости продувочного воздуха к скорости фильтрации 0,2—0 5 При увеличении отношения остаточное сопротивление непрерывно повышается, так как происходит слишком интенсивная очистка и засоряются глубинные поры

Металлокерамические фильтры наиболее широко применяются для выделения из горячих газовых потоков ценных пылевидных продуктов, например пылевидных катализаторов, и используются в энергетических ядерных реакторах для очистки CO_2, служащего теплоносителем, в контурах рециркуляции и в системах продувки и аварийного сброса газа в атмосферу Для ядерных реакторов используются элементы из хромистой стали, а для других целей — из бронзы

Фторопластовые пористые патроны применяются для стерилизации воздуха в производстве антибиотиков [5 51]

РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ГАЗОВ

6.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Широкое применение электрофильтров для улавливания твердых и жидких частиц обусловлено их универсальностью и высокой степенью очистки газов при сравнительно низких энергозатратах Установки электрической очистки газов работают с эффективностью до 99%, а в ряде случаев и до 99,9%, причем улавливают частицы любых размеров, включая и субмикронные, при концентрации частиц в газе до 50 г/м³ и выше

Промышленные электрофильтры применяются в диапазоне температур до 400—450°С, в некоторых случаях и при более высоких температурах, а также в условиях воздействия различных коррозионных сред Электрофильтры могут работать как под разрежением, так и под давлением очищаемых газов Системы пыле- и золоулавливания с применением электрофильтров могут быть полностью автоматизированы.

Электрофильтры отличаются относительно низкими эксплуатационными затратами Гидравлическое сопротивление правильно спроектированного электрофильтра не превышает 100—150 Па, т е является минимальным по сравнению с другими газоочистными аппаратами, затраты электроэнергии составляют обычно 0 36—1 8 МДж (0,1—0,5 кВт ч) на 1000 м³ газа

Капитальные затраты на сооружение установок электрофильтров высоки ввиду того, что эти аппараты металлоемки и занимают большую площадь, снабжаются специальными повысительно-выпрямительными агрегатами для электропитания При этом с уменьшением производитель-

зости установок по газу удельные капитальные затраты возрастают.

Преимущественной областью применения электрофильтров является очистка больших объемов газа, отходящих от современных агрегатов большой мощности, например от мощных котельных агрегатов, для которых разработаны электрофильтры единичной производительностью по газу свыше 1 000 000 м³/ч. Экономически оправдано применение электрофильтров и в установках производительностью по газу всего несколько тысяч м³/ч. В ряде случаев электрофильтры используются для очистки и меньших объемов газа из-за отсутствия других технических средств.

К недостаткам электрофильтров следует отнести высокую чувствительность процесса электрической очистки газов к отклонениям от заданного технологического режима, а также к незначительным механическим дефектам внутреннего оборудования, которые могут явиться результатом недостаточно тщательного проведения монтажных работ или неквалифицированного обслуживания при эксплуатации

С этой особенностью электрофильтров необходимо считаться при их применении. так как если электрофильтр используется в технологических условиях, на которые он не рассчитан, плохо смонтирован или эксплуатируется с нарушениями установленных правил, то его эффективность может резко снизиться по сравнению с ожидаемой и, таким образом, вложенные в установку значительные средства не дадут необходимого эффекта

В ряде случаев электрофильтры не могут быть применены в связи с тем, что свойства газопылевого потока неблагоприятны для осуществления процесса электрогазоочистки. Это относится, например, к случаям, когда удельное электрическое сопротивление пыли чрезмерно велико.

Электрофильтры не применяются, если очищаемый газ представляет собой взрывоопасную смесь или такая смесь может образоваться в ходе процесса в результате отклонения от нормального технологического режима, так как при работе электрофильтра неизбежно возникновение искровых разрядов

В исключительных случаях электрофильтры все же устанавливаются в условиях возможного образования взрывоопасных сред, однако при этом предпринимаются особые меры предосторожности, включающие специальные конструктивные решения, автоматическое отключение электропитания при возникновении взрывоопасных концентраций среды и т. п.

Сущность процесса электрической очистки газов в электрофильтрах заключается в следующем. Газ, содержащий взвешенные частицы, проходит через систему, состоящую из заземленных осадительных электродов и размещенных на некотором расстоянии (называемом межэлектродным промежутком) коронирующих электродов, к которым подводится выпрямленный электрический ток высокого напряжения (рис. 6.1).

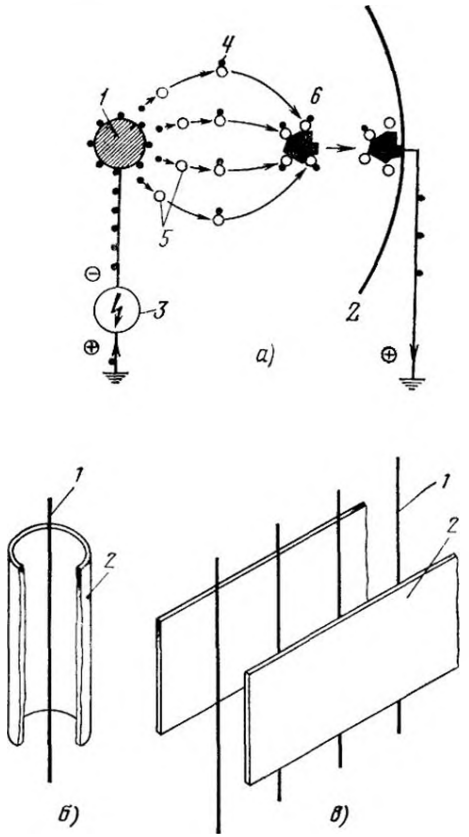


Рис. 6.1. Принципиальная схема работы электрофильтра:

а — процесс электрического осаждения частиц; *б* — электрофильтр с трубчатым электродом, *в* — электрофильтр с пластинчатыми электродами, *1* — коронирующий электрод; *2* — осадительный электрод; *3* — агрегат электропитания; *4* — электрон, *5* — молекула газа; *6* — осаждаемая частица

При достаточно большом напряжении, приложенном к межэлектродному промежутку, у поверхности коронирующего электрода происходит интенсивная ударная ионизация газа, сопровождающаяся возникновением коронного разряда (короны), который на весь межэлектродный промежуток не распространяется и затухает по мере уменьшения напряженности электрического поля в направлении осадительного электрода.

Газовые ионы различной полярности, образующиеся в зоне короны, под действи-

ем сил электрического поля движутся к разноименным электродам, вследствие чего в межэлектродном промежутке возникает электрический ток, называемый током короны Улавливаемые частицы из-за адсорбции на их поверхности ионов приобретают в межэлектродном промежутке электрический заряд и под влиянием сил электрического поля движутся к электродам, осаждаясь на них Основное количество частиц осаждается на развитой поверхности осадительных электродов, меньшая их часть попадает на коронирующие электроды По мере накопления на электродах *осажденные частицы удаляются* встряхиванием или промывкой электродов

Процесс электрогазоочистки можно разделить на следующие стадии зарядка взвешенных в газе частиц, движение заряженных частиц к электродам, осаждение частиц на электродах, удаление осажденных частиц с электродов

Основой процесса является образование между электродами электрофильтра коронного разряда, который характерен для системы электродов с резко неоднородным полем

Примерами систем электродов, образующих резко неоднородные поля, являются острие плоскость, концентрические цилиндры при отношении радиусов больше 10, провод — плоскость или ряд проводов между двумя параллельными плоскостями при отношении радиуса провода к межэлектродному промежутку менее 0,1

Коронный разряд возникает при достижении определенной напряженности электрического поля, называемой критической или начальной, которая, например, для воздуха при атмосферном давлении и температуре 20°С составляет около 15 кВ/см Критической напряженности электрического поля соответствует критическое напряжение или критическая разность потенциалов, подводимая к электродам

Критическое напряжение определяет начало возникновения коронного разряда в электрофильтре С увеличением на электродах напряжения выше критического возрастает напряженность электрического поля в межэлектродном пространстве и соответственно увеличивается ток короны При этом в нормально работающем электрофильтре интенсифицируются процессы зарядки и осаждения частиц, т е возрастает эффективность их улавливания Однако напряжение на электродах может быть поднято до определенного значения, при достижении которого электрическая прочность газового промежутка между электродами будет нарушена искровым или дуговым электрическим разрядом, т е наступит пробой межэлектродного промежутка

Критическое напряжение коронного разряда для системы, состоящей из трубчатого осадительного электрода и гладкого проволочного коронирующего электрода (рис 6 1,*б*), определяется формулой

$$U_0 = E_0 R_1 \ln \frac{R_2}{R_1}, \qquad (6.1)$$

а для системы, состоящей из пластинчатых осадительных электродов и проволочных коронирующих электродов (рис 6 1,*в*), — формулой

$$U_0 = E_0 R_1 \left(\frac{\pi H}{d} - \ln \frac{2\pi R_1}{d} \right), \qquad (6\ 2)$$

где U_0 — критическое напряжение, В, E_0 — критическая напряженность электрического поля, В/м, R_1 — радиус коронирующего электрода, м, R_2 — радиус трубчатого осадительного электрода, м, H — расстояние между коронирующим электродом и пластинчатым осадительным электродом, м; d — расстояние между соседними коронирующими электродами в ряду, м

Из приведенных формул видно, что с уменьшением радиуса коронирующего электрода R_1 критическое напряжение снижается, т е происходит более раннее зажигание короны, чем и объясняется использование тонкой проволоки, острых кромок и острий для создания коронного разряда.

В промышленных электрофильтрах при обычно применяемых значениях $R_1 = 0{,}001-0{,}002$ м, $R_2 = H = 0{,}1-0{,}15$ м значение критического напряжения находится в пределах от 20 до 40 кВ

Зависимость между приложенным к электродам напряжением и силой тока короны выражается вольт амперной характеристикой электрофильтра, с помощью которой можно произвести оценку его работы.

Вид вольт амперных характеристик зависит от многих факторов, в числе которых полярность приложенной к электродам разности потенциалов, конструктивные параметры (геометрические характеристики электродов), технологические параметры газа, количество содержащихся в газе взвешенных частиц и их свойства Примеры вольт амперных характеристик приведены на рис 6 2

Для электрической очистки газов используется, как правило, отрицательная корона, т е на коронирующий электрод подается отрицательное напряжение выпрямленного тока Это объясняется большей подвижностью отрицательных ионов по сравнению с положительными, а также тем, что при отрицательной короне удается поддерживать более высокое напряжение без искрового пробоя между электродами.

В настоящее время в промышленности применяются два вида электрофильтров

однозонные электрофильтры, в которых зарядка и осаждение частиц осуществляются в одной зоне, применяемые для очистки промышленных газов

двухзонные электрофильтры, в которых процессы зарядки и осаждения протекают в

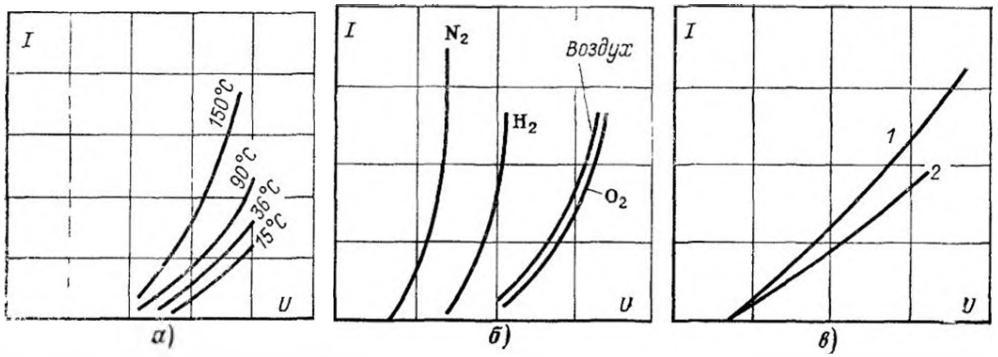


Рис. 6.2. Характер зависимости вольт-амперных характеристик электрофильтра от некоторых факторов:

а — от температуры газа; *б* — от состава газа; *в* — от полярности короны; *1* — отрицательная корона; *2* — положительная корона

двух разных зонах — ионизаторе и осадителе, применяемые в основном для тонкой очистки воздуха в системах вентиляции и кондиционирования.

Современный однозонный электрофильтр для очистки промышленных газов представляет собой газоплотный корпус, в котором размещаются системы электродов, а также устройства, обеспечивающие равномерное распределение газа по сечению аппарата и вывод из него уловленных частиц.

Рабочая часть электрофильтра, в которой под действием приложенного напряжения существует электрическое поле, с размещенными в ней осадительными и коронирующими электродами называется активной зоной или активным объемом электрофильтра.

Активная зона электрофильтра разделяется на несколько электрических полей, через которые очищаемый газ проходит последовательно. Системы коронирующих электродов каждого поля электрически изолированы друг от друга и имеют самостоятельный токоподвод. В зависимости от количества полей электрофильтры бывают однопольными или многопольными.

Кроме деления на отдельные поля электрофильтры в некоторых случаях разбиваются на параллельные по ходу газа камеры — секции. Это позволяет отключать секцию по газу в работающем аппарате, например, для встряхивания или промывки электродов или для производства ремонтных работ, обеспечивая пропуск газа с повышенной скоростью через неотключенную часть электрофильтра.

При составлении технических характеристик электрофильтра используется следующая терминология:

активная высота электродов — высота коронирующих и осадительных электродов в пределах (границах) активной зоны;

активная длина поля — протяженность поля в направлении хода газа в пределах активной зоны. В вертикальных электрофильтрах активная длина поля совпадает с активной высотой электродов;

активная длина электрофильтра — сумма активных длин всех полей аппарата;

активное сечение — свободное сечение для прохода газа в активной зоне электрофильтра;

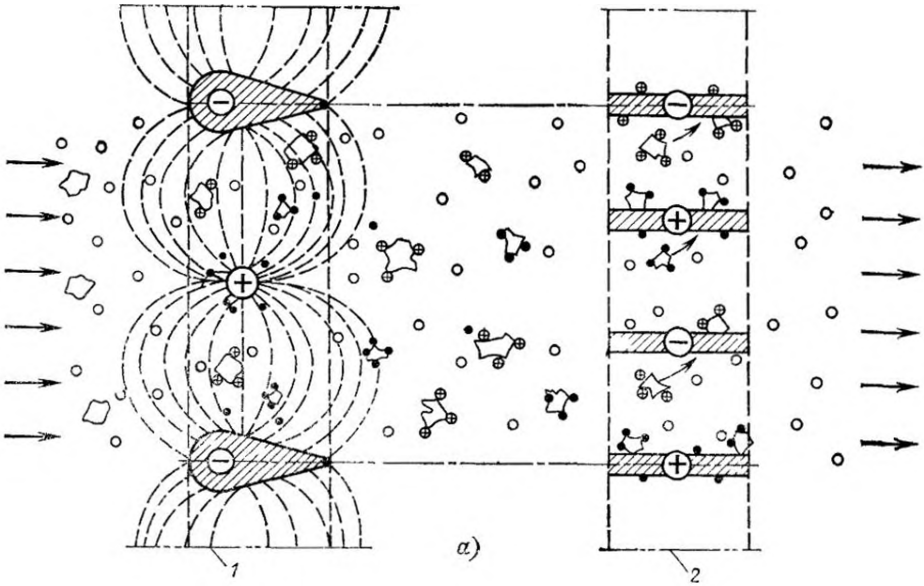
поверхность осаждения осадительных электродов — суммарная поверхность осадительных электродов в активной зоне электрофильтра;

активная длина коронирующих электродов — полная длина всех элементов коронирующих электродов в активной зоне.

В **двухзонных электрофильтрах** (рис. 6.3) зарядка улавливаемых частиц происходит в ионизаторе, где размещены коронирующие и осадительные электроды, а осаждение заряженных частиц осуществляется в осадителе, в электростатическом поле, образованном рядом параллельных пластин, среди которых попарно чередуются заземленные и находящиеся под напряжением пластины.

В двухзонных электрофильтрах расстояние между разноименными электродами в ионизаторе и осадителе значительно меньше, чем в промышленных однозонных электрофильтрах, а напряжение, подаваемое на электроды, ниже.

Двухзонные электрофильтры применяются для очистки слабозапыленных потоков, например, атмосферного воздуха в системах приточной вентиляции, обеспечивая при этом эффективное улавливание очень тонких частиц. В двухзонных электрофильтрах систем приточной вентиляции на коронирующие электроды ионизатора подается положительный заряд, так как количество озона, образующегося в зоне короны при



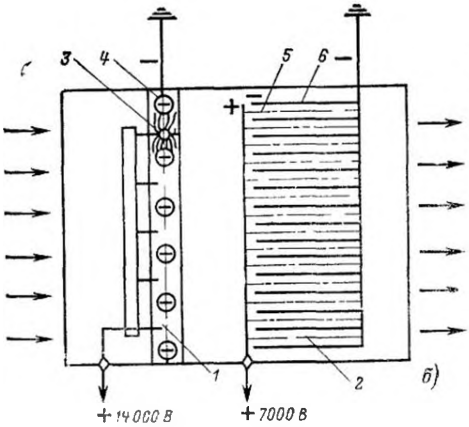


Рис. 6.3. Двухзонный электрофильтр

а — схема процесса в двухзонном электрофильтре; *б* — принципиальная схема двухзонного электрофильтра; *1* — ионизатор, *2* — осадитель; *3* — электроды ионизатора положительной полярности (коронирующие), *4* — электроды ионизатора отрицательной полярности (заземление), *5* — электроды осадителя положительной полярности, *6* — электроды осадителя отрицательной полярности

положительной полярности короны, значительно меньше, чем при отрицательной

В **однозонных электрофильтрах** с поперечным ходом газа (рис. 6.4) осадительные электроды устанавливаются поперек хода газового потока и представляют собой проницаемые для газа металлические перегородки (решетки, сетки и т. п.). Между осадительными электродами устанавливаются коронирующие. Процесс зарядки и осаждения частиц в электрическом поле в принципе аналогичен проходящему в обычном однозонном электрофильтре

Несмотря на большую эффективность по сравнению с обычными однозонными электрофильтрами, электрофильтры с поперечным ходом газа не нашли пока широкого применения в промышленности из-за конструктивной сложности.

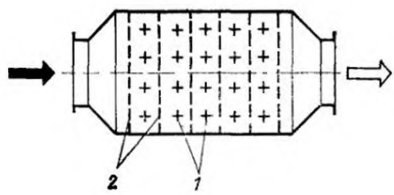


Рис 6.4 Электрофильтр с поперечным ходом газа

1 — коронирующие электроды; *2* — осадительные электроды

6.2. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

Электрофильтры по способу удаления осажденных на электродах частиц разделяются на сухие и мокрые

В сухих электрофильтрах обычно улавливаются твердые частицы, которые удаляются с электродов встряхиванием. Очищаемый в сухом электрофильтре газ должен иметь температуру, превышающую точку росы, во избежание конденсации влаги, появление которой может вызвать образование трудноудаляемых отложений на электродах и коррозию аппарата

В мокрых электрофильтрах могут улавливаться твердые частицы, смываемые с поверхности электродов орошающей жидкостью (обычно водой). Температура газа, поступающего в мокрый электрофильтр, должна быть близкой к точке росы или равна ей. Кроме того, мокрые электрофильтры применяются для улавливания жидких частиц — тумана или капельной влаги из газового потока, причем специальные устройства для промывки могут отсутствовать, если жидкие частицы самостоятельно стекают с электродов по мере их накопления.

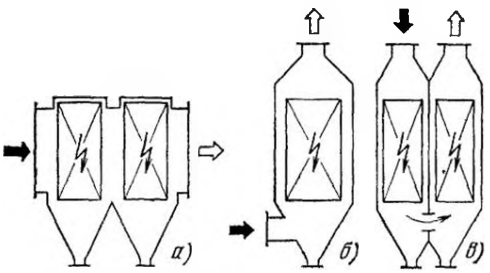


Рис. 6.5. Схемы движения газов в горизонтальных и вертикальных электрофильтрах:
а — многопольный горизонтальный электрофильтр; *б* — однопольный вертикальный электрофильтр; *в* — двухпольный вертикальный электрофильтр

Очищаемый в электрофильтре газ может проходить через активную зону в вертикальном или горизонтальном направлении, и соответственно электрофильтры могут быть вертикальными или горизонтальными (рис. 6.5).

Наиболее распространенным типом сухих электрофильтров является многопольный горизонтальный электрофильтр. Наличие нескольких последовательных полей в электрофильтре улучшает условия улавливания частиц из-за возможности дифференциации электрического режима и режима встряхивания электродов по полям.

Вертикальные электрофильтры в большинстве своем являются однопольными, что значительно ограничивает их применение для сухого пылеулавливания из-за относительно низкой эффективности.

Вертикальные многопольные аппараты (рис. 6.5,*в*) применяются редко из-за своей конструкционной сложности.

Мокрые электрофильтры выполняются вертикальными однопольными или горизонтальными многопольными.

Системы осадительных электродов электрофильтров

Системы осадительных электродов выполняются двух типов: с пластинчатыми электродами и с трубчатыми электродами.

Пластинчатые электроды используются как в горизонтальных, так и в вертикальных электрофильтрах, а трубчатые — только в вертикальных.

Трубчатые осадительные электроды обеспечивают лучшие по сравнению с пластинчатыми условия улавливания частиц из-за лучших характеристик электрического поля. Однако обеспечить хорошее встряхивание трубчатых электродов сложно, и поэтому трубчатые электроды очень редко применяются в сухих электрофильтрах, но находят широкое применение в мокрых электрофильтрах.

Общими требованиями к осадительным электродам является наличие обращенной к коронирующим электродам гладкой поверхности без острых кромок и выступов, снижающих рабочее напряжение электрофильтра.

Металлоемкость осадительных электродов, как наиболее тяжелой части аппарата, во многом определяющей его стоимость, должна быть минимальной, но при этом электроды должны обладать достаточной жесткостью, обеспечивающей сохранение заданной формы поверхности, так как их коробление ведет к местному уменьшению межэлектродных промежутков и ухудшению работы электрофильтра.

Осадительные электроды сухих электрофильтров, кроме того, должны хорошо отряхиваться и обладать достаточной механической прочностью, чтобы выдерживать ударные нагрузки при встряхивании, а также обеспечивать работу в условиях повышенных температур.

Профиль пластинчатых осадительных электродов сухих электрофильтров подбирается с учетом необходимости удержания на них осажденной пыли от вторичного уноса.

Основные разновидности осадительных электродов, применяемых в различных типах электрофильтров, представлены на рис. 6.6—6.8.

Электроды **плоские** (рис. 6.6) изготавливаются в виде пластин из листо-

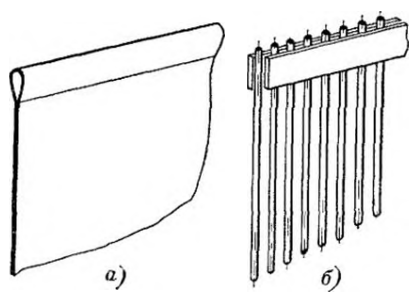


Рис. 6.6. Плоские осадительные электроды:
а — листовые; *б* — прутковые

вого материала, вставленных в рамки сеток, в виде полос или прутков

Плоские листовые электроды находят преимущественное применение в мокрых пластинчатых электрофильтрах, так как просты в изготовлении и хорошо обмываются при промывке

Использование плоских электродов в сухих электрофильтрах ограничено в связи со значительным вторичным уносом осажденной пыли с поверхности таких электродов Поэтому в сухих электрофильтрах плоские электроды применяются при скорости газов не более 0,8—1 м/с

Прутковые электроды, полотно которых набрано из отдельных прутков, закрепленных в обоймах, применяются в условиях высоких температур, так как они не подвержены короблению

Электроды коробчатые имеют внутренние полости для вывода уловленной пыли и выполняются в виде коробки, наружные стенки которой, обращенные к коронирующим электродам, снабжены отверстиями различной конфигурации

Наиболее широко из электродов этого типа в горизонтальных электрофильтрах применялись перфорированный электрод (рис 6 7,*а*) с круглыми отверстиями и карманный электрод (рис 6 7,*б*) с выштампованными навстречу газовому потоку под углом 40° карманами

В вертикальных электрофильтрах используются так называемые тюльпанные электроды (рис 6 7,*в*)

Условием эффективной работы электрофильтров с коробчатыми электродами является попадание уловленной пыли во внутреннюю полость при встряхивании электрода и вывод ее из газового потока, за счет чего должен значительно снижаться вторичный унос Однако это условие часто не осуществляется из-за замазывания осажденной пылью отверстий, в результате чего основная масса пыли при встряхивании сбрасывается в межэлектродное пространство

Существенным недостатком коробчатых электродов является их высокая металлоемкость и сложность изготовления Кроме того, наличие выступов на внешней части электродов вызывает уменьшение рабочего напряжения электрофильтра и снижение эффективности улавливания, что особенно характерно для карманных электродов

В связи с этим при разработке электрофильтров новейших конструкций от коробчатых электродов отказались в пользу более легких желобчатых электродов и электродов открытого профиля

Электроды желобчатые (рис 6 7,*г*) представляют собой желоба сложного профиля, установленные в жесткой раме наклонно под углом около 7° К недостаткам таких электродов следует от-

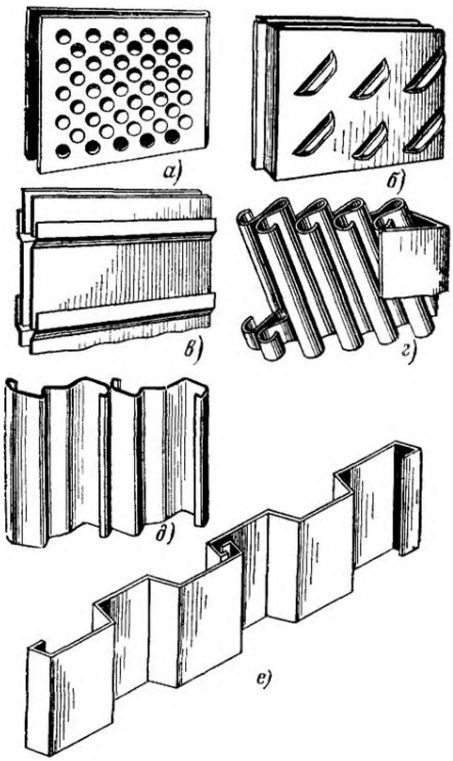


Рис 6 7 Пластинчатые осадительные электроды сложного профиля

а — перфорированные *б* — карманные *в* — тюльпанные, *г* — желобчатые, *д* *е* — открытого профиля

нести трудоемкость изготовления и недостаточную механическую прочность

Электроды открытого профиля получили в настоящее время наибольшее распространение при изготовлении горизонтальных сухих электрофильтров Электроды состоят из вертикальных профилированных элементов, скрепленных поперечными полосами вверху и внизу Элементы обычно имеют корытообразную форму с фигурными бортами, а при большой ширине состоят из нескольких объединенных корытообразных профилей Такая форма сечения элементов обеспечивает наибольшую жесткость при минимальной металлоемкости, наличие зоны аэродинамической тени снижает вторичный унос и позволяет использовать электроды открытого профиля в электрофильтрах при скоростях газа до 1,7 м/с Элементы изготавливаются холодной прокаткой из стальной ленты толщиной 0 8—1 5 мм что обеспечивает их высокую экономичность

Коронирующие электроды, устанавливаемые в сочетании с осадительными элек

родами данной конструкции, размещаются в промежутке между выступами, что позволяет поддерживать высокое напряжение в электрофильтре и обеспечивает высокую эффективность улавливания пыли. Применение осадительных электродов с открытым профилем позволило создать электрофильтры с активной высотой электродов до 12,5 м.

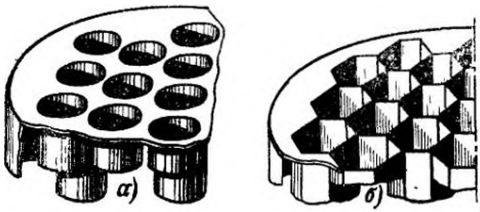


Рис. 6 8. Трубчатые осадительные электроды:
а — круглые; *б* — сотовые, шестигранные

Электроды трубчатые (рис. 6 8,*а* и *б*) чаще всего выполняются из стальных труб круглого сечения, а в случае применения мокрых электрофильтров для коррозионно активных сред используются трубы из других материалов (винипласта, чугуна, ферросилида и др.). При применении труб из непроводящих материалов работа электрофильтра обеспечивается наличием на поверхности электрода осажденной пленки проводящей жидкости. Недостатком электрофильтров с трубчатым электродом круглого сечения является неудовлетворительное использование объема аппарата и большая материалоемкость системы электродов.

Сотовый осадительный электрод, состоящий из правильных шестигранников, позволяет использовать весь объем электрофильтра и облегчить систему электродов. Однако сложность изготовления сотовых электродов значительно сокращает область их применения, и в настоящее время они используются только в электрофильтрах сернокислотного производства, выполняемых из свинца.

Системы коронирующих электродов электрофильтров

Системы коронирующих электродов можно разделить на три группы: с рамными коронирующими электродами, со свободно подвешенными нежесткими коронирующими электродами и с жесткими коронирующими электродами.

Система с рамными коронирующими электродами (рис. 6.9,*а* и *б*) может использоваться только в сочетании с пластинчатыми осадительными электродами. Коронирующие элементы закрепляются в жестких рамах, которые в свою очередь опираются на изоляторы через боковые или верхние рамы подвеса. При верхнем подвесе рам электроды удерживаются от раскачки путем фиксации между собой связями, расположенными внизу, под осадительными электродами.

Применение рамных конструкций коронирующих электродов ограничивается температурой 300—330°С, так как при более высоких температурах наблюдается коробление трубчатых рам.

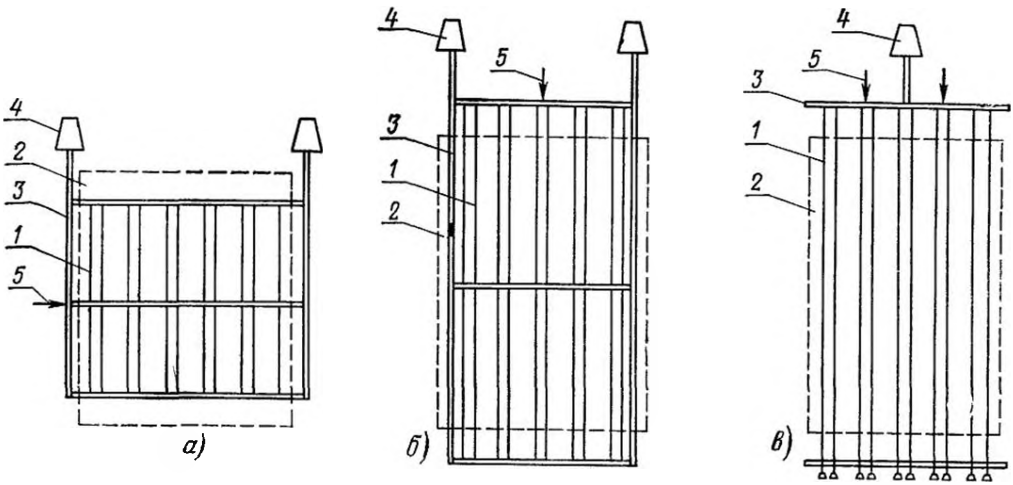


Рис. 6.9. Типы систем коронирующих электродов:
а — рамная с боковым подвесом; *б* — рамная с верхним подвесом; *в* — со свободно подвешенными электродами. *1* — коронирующий электрод; *2* — осадительный электрод; *3* — рама коронирующих электродов; *4* — изолятор; *5* — направление удара при встряхивании

Система со свободно подвешенными коронирующими электродами (рис. 6.9,*в*) включает в себя верхнюю раму, закрепленную на изоляторах, подвешенные к этой раме отдельные коронирующие электроды, каждый из которых натягивается самостоятельным грузом, а также нижнюю раму, фиксирующую провода и грузы в нижней части системы. Такие системы применяются в сочетании как с пластинчатыми, так и с трубчатыми осадительными электродами.

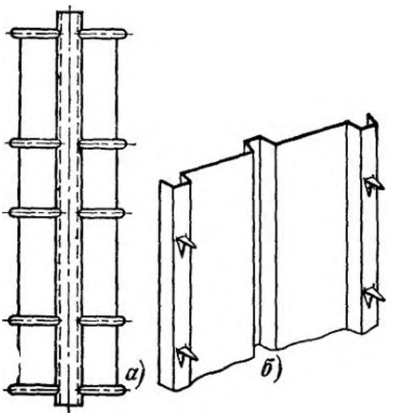


Рис. 6.10. Коронирующие электроды:
***а* — мачтового типа; *б* — жесткий с выштампованными остриями**

К недостаткам свободноподвешенных коронирующих электродов следует отнести трудоемкость монтажа, возможность значительной раскачки как отдельных проводов так и всей системы в целом, особенно при высоте более 4—5 м, а также сложность организации эффективного отряхивания пыли.

Системы с жесткими коронирующими электродами занимают промежуточное положение между этими двумя типами систем коронирующих электродов. Такие системы набираются из жестких элементов с коронирующими выступами (рис. 6.10,*б*) или из «мачтовых» элементов, в которых к центральной жесткой трубе прикрепляются проволочные коронирующие электроды (рис. 6.10,*а*) или короткие элементы с коронирующими выступами. Жесткие элементы объединяются вверху и внизу связями, образуя пространственную раму.

Коронирующие электроды должны иметь точные геометрические размеры для создания интенсивного и достаточно однородного коронного разряда. Так как коронирующие электроды обычно имеют малое сечение и длина их в электрофильтре измеряется километрами, вопрос обеспечения прочности коронирующих электродов является во многих случаях ключевым с точки

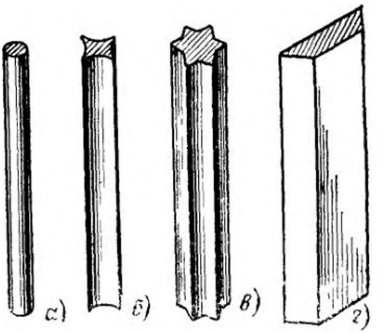


Рис. 6.11. Коронирующие электроды с нефиксированными разрядными точками:
***а* — круглая проволока; *б* — провод штыкового сечения; *в* — звездочка; *г* — ножевой электрод**

зрения надежности электрофильтра, тем более что обрыв одного электрода выводит из строя целое поле.

Коронирующие электроды с нефиксированными точками разряда (рис. 6.11) выполняются в виде круглой проволоки малого диаметра или элементов, имеющих в своем сечении участки малого радиуса кривизны (штыковое сечение, звездочка, ножевое сечение, ленточный провод и т. д.). Разрядные точки в этих электродах не имеют фиксированного положения и располагаются вдоль электрода на разном расстоянии друг от друга в зависимости от режима работы электрофильтра и состояния поверхности электрода.

Коронирующие электроды с фиксированными точками разряда (игольчатые, рис. 6.12) представляют собой колючую проволоку или тонкостенные элементы с выштампованными через определенные промежутки иглами, выступами, зубцами и т. п. Электроды этого типа дают возможность задаваться опреде-

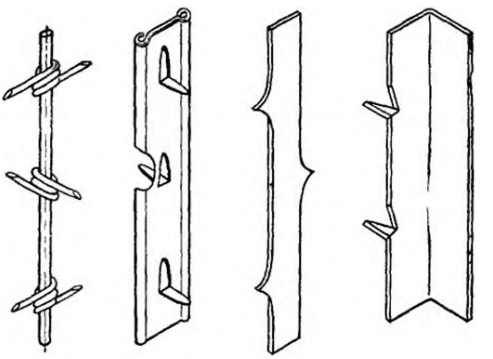


Рис. 6.12. Коронирующие электроды с фиксированными точками разряда

ленным током короны за счет изменения шага игл, а также их высоты.

В последнее время электроды с фиксированными точками разряда находят широкое применение и позволяют в ряде случаев добиться значительного увеличения эффективности электрофильтров. В сухих электрофильтрах электроды этого типа имеют в настоящее время преимущественное использование.

Для мокрых электрофильтров институтом Гинцветмет [6.10] совместно с институтом Гипрогазоочистка разработана система электродов «без влияния кромок» — БВК (рис. 6.13).

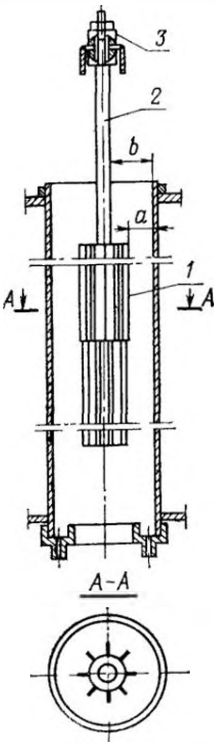


Рис. 6.13. Электрод БВК:
1 — коронирующий электрод; 2 — штанга подвеса; 3 — узел крепления электрода к раме

Коронирующий электрод БВК применяется в сочетании с трубчатым осадительным электродом и представляет собой жесткий стержень, к которому приварены продольные коронирующие ребра Так как на пробойное напряжение в электрофильтре значительное влияние оказывает краевой эффект, т. е. условия, создаваемые в зоне конца осадительного электрода, то оказалось возможным поддержание высокого напряжения на электродах при резком сокращении межэлектродного промежутка, если одновременно расстояние между электродами в зоне конца осадительного электрода (его «кромки») сохранить достаточно большим При этом в межэлектродном промежутке значительно возрастает напряженность электрического поля и соответственно увеличивается эффективность улавливания. Скорость газа в активном сечении электрофильтров с электродами БВК может быть повышена в 3—4 раза по сравнению с обычными электрофильтрами при сохранении эффективности улавливания частиц

Из-за малого межэлектродного промежутка система электродов БВК чувствительна к нарушению центровки и возникновению отложений на электродах, в связи с чем может применяться преимущественно в электрофильтрах для улавливания жидких частиц, не образующих отложений (например, кислотных туманов), и требует тщательного проведения монтажных работ.

Системы встряхивания осадительных и коронирующих электродов

Встряхивание осадительных и коронирующих электродов сухих электрофильтров может производиться несколькими способами

Встряхивание соударением осуществляется отводом эксцентрично подвешенных электродов кулачковым механизмом в горизонтальном направлении с последующим резким сбросом, в результате чего происходит столкновение электродов

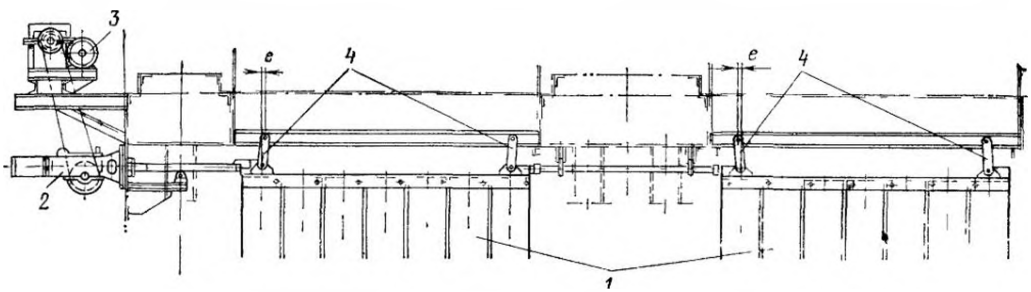


Рис. 6 14. Встряхивание электродов соударением:
1 — осадительные электроды (верхняя часть); 2 — кулачковый механизм для оттяжки и сброса электродов; 3 — привод механизма; 4 — эксцентричная подвеска с эксцентриситетом e

между собой и стряхивание с их поверхностей осажденной пыли (рис. 6 14). Вместо отвода электродов в горизонтальном направлении возможен их подъем с последующим сбросом на специальные конструкции корпуса. Встряхивание соударением используется для коробчатых осадительных электродов.

В механизмах, осуществляющих отвод или подъем электродов, возникают большие усилия, в связи с чем они подвержены значительному износу.

Ударно-молотковое встряхивание является наиболее распространенным в настоящее время способом встряхивания осадительных и коронирующих электродов.

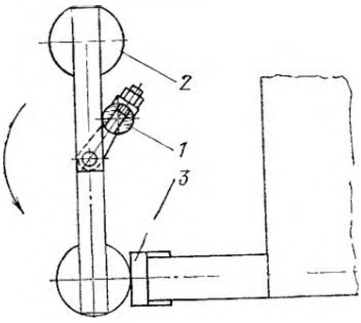


Рис 6 15 Ударно-молотковый механизм встряхивания с опрокидывающимися молотками·

1 — молотковый вал; *2* — опрокидывающаяся часть молотка; *3* — наковальня

Ударно-молотковый механизм встряхивания осадительных электродов состоит из медленно вращающегося вала, привод которого расположен вне электрофильтра, и так называемых «опрокидывающихся» молотков, закрепленных на валу При вращении вала бойки молотков, дойдя до определенного положения, падают под действием силы собственного веса и производят удар по наковальням электродов Наковальни обычно являются элементом полос встряхивания, скрепляющих осадительный электрод в нижней или средней его частях (рис. 6 15).

Для облегчения сборочных работ при монтаже электрофильтра и лучшей центровки удара между молотком и наковальней иногда устанавливаются промежуточные штоки, которые собираются в единый блок с молотковым валом на заводе-изготовителе. Благодаря смещению молотков на валу относительно друг друга удары по электродам наносятся не одновременно, а с определенным интервалом, что снижает вынос осажденной пыли.

Изменяя массу бойка молотка, можно варьировать силу удара по наковальне, подбирая минимальное ее значение, достаточное для стряхивания пыли при заданных условиях. С увеличением силы удара ускоряется износ соударяемых деталей, поэтому излишнее увеличение массы бойка нежелательно.

Современные осадительные электроды из жестких профилированных элементов хорошо отряхиваются при использовании описанного механизма. Практика подтвердила, что даже для встряхивания электродов высотой 12,5 м достаточно установки встряхивающего механизма в одном уровне.

Ответственным элементом, участвующим в работе системы встряхивания осадительных электродов, является полоса встряхивания, к которой прикрепляются своими нижними концами элементы осадительного электрода. Полоса встряхивания должна обеспечить равномерную передачу ударного импульса по всем элементам осадительного электрода. Это достигается правильным выбором соотношений между массой и жесткостью полосы встряхивания, с одной стороны, и элементов осадительных электродов, с другой.

Важное влияние с точки зрения передачи ударного импульса на элементы осадительного электрода оказывает конструкция соединения элементов с полосой встряхивания Наилучшие результаты дает применение жесткого крепления элементов с полосой

Особенностью ударно-молотковых механизмов встряхивания коронирующих электродов является необходимость включения в кинематическую схему изоляторов для соединения молотковых валов, находящихся под высоким электрическим напряжением, с приводом, устанавливаемым вне камеры электрофильтра, обычно на его крышке Механизм с опрокидывающимися молотками аналогичен описанному выше механизму встряхивания осадительных электродов Вращение на горизонтальный молотковый вал передается от вертикального вала, проходящего через трубчатую подвеску системы коронирующих электродов, к опорному изолятору Вертикальный вал соединен с приводом посредством вала-изолятора, устанавливаемого над опорным изолятором. Для передачи вращения с вертикального вала на горизонтальный внутри электрофильтра предусматривается специальный редуктор с пальцевыми шестернями, поскольку обычно употребляемые редукторы для скрещивающихся валов (например, конические) не могут быть использованы ввиду особых условий (высокая температура, запыленная среда, невозможность подвести смазку).

Такие механизмы используются как при боковом подвесе рамных коронирующих электродов, когда удар наносится сбоку по горизонтальной наковальне, так и при вер-

тикальном подвесе, когда удар наносится сверху по вертикальной наковальне.

Схема механизма может быть упрощена при боковом размещении привода и установке вала-изолятора непосредственно на входе в камеру электрофильтра, что исключает дополнительную передачу. Однако в этом случае в тяжелые условия (запыленность, высокая температура) попадает вал-изолятор, вследствие чего резко возрастает вероятность его отказа и соответственно выхода из строя механизма встряхивания.

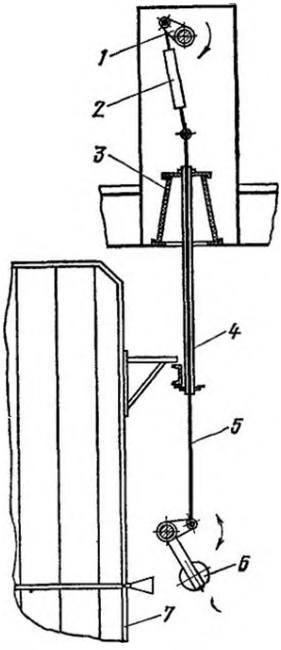


Рис. 6.16. Ударно-молотковый механизм со сбросом молотков:

1 — механизм подъема и сброса; *2* — шатун-изолятор; *3* — изолятор опорно-проходной, *4* — труба подвеса системы коронирующих электродов; *5* — тяга; *6* — молоток; *7* — коронирующий электрод

Для встряхивания коронирующих электродов применяется также схема с одновременным ударом по наковальням всех молотков одного вала (рис. 6.16). При этом вал, на котором закреплены молотки, посредством рычажного механизма поворачивается на некоторый угол, обычно до 60°, и соответственно на этот же угол поднимаются закрепленные на нем молотки. После подъема происходит резкий сброс молотков под действием собственного веса, в результате чего молотки ударяют по наковальням.

Для осуществления сброса могут применяться механизмы разного типа (кулачковые, храповые и т. п.). В отечественной практике в последнее время используется шарнирно-пальцевый механизм, состоящий из закрепленного на валу водила с пальцем и свободно сидящего на том же валу кривошипа, соединенного тягами с рычагом молоткового вала. Водило поворачивает кривошип из нижнего положения в верхнее, после чего кривошип проворачивается по валу в нижнее положение, а молотки при этом производят удар. Водило, продолжая вращение, через некоторое время «догоняет» кривошип в его нижнем положении, и цикл повторяется. Механизм сброса с приводом устанавливается вне камеры электрофильтра, над одним из опорных изоляторов системы коронирующих электродов, а тяги, соединяющие его с молотковым валом, проходят внутри трубчатой подвески. Верхним звеном тяги является шатун-изолятор, который присоединяется к кривошипу.

Механизмы описанного типа применяются для бокового и вертикального встряхивания.

Основным недостатком механизмов со сбросом молотков является одновременность удара по большому количеству электродов, что ухудшает работу электрофильтра, особенно при больших размерах этой системы.

Однако шарниры и подшипники в механизме этого типа, расположенные внутри электрофильтра, менее подвержены износу, чем в механизме с опрокидывающимися молотками, из-за ограниченных углов поворота.

При верхнем подвесе коронирующих электродов используются в основном механизмы, аналогичные двум описанным типам, с той разницей, что удар наносится по вертикально установленным наковальням, в связи с чем механизмы имеют некоторые особенности.

Ударно-импульсные системы встряхивания с использованием электромагнитных или пневматических ударных устройств применяются для ударного встряхивания электродов наряду с молотковыми механизмами. Такие системы удобны тем, что позволяют в широких пределах регулировать силу удара и интервал между ударами, но из-за сложности самих импульсных устройств пока не нашли широкого применения в отечественной практике.

Вибрационные механизмы встряхивания также применяются для стряхивания пыли с электрода. Создание на электродах направленных или неориентированных колебаний с помощью электромагнитных или электромеханических (дебалансных) вибраторов обеспечивает в определенных условиях стряхивание осажденной пыли. Однако конструкционное решение этих систем сложно, длительная надежная работа узлов и деталей механизма в условиях вибрационных нагрузок, вызы-

вающих усталостное разрушение материалов, не обеспечивается. Сравнение же с ударными механизмами показывает, что правильно организованное ударное встряхивание обеспечивает более эффективное удаление пыли с электродов, чем вибрационное. В связи с этим во вновь разрабатываемых конструкциях электрофильтров вибрационное встряхивание электродов применяется редко.

Системы промывки электрофильтров

Для удаления осажденных в мокрых электрофильтрах твердых частиц применяется периодическая и непрерывная промывка электродов.

Периодическая промывка электрофильтра создается подачей в активную зону большого количества промывочной жидкости в течение короткого срока (обычно до 15 мин). Естественно, что во время такой промывки напряжение с коронирующей системы должно быть снято, так как в противном случае неизбежны электрические пробои. Поэтому на время периодической промывки однопольных электрофильтров необходимо отключать по газу промываемую секцию или весь электрофильтр (если в установке имеется несколько параллельно установленных аппаратов) во избежание проскока неочищенного газа. В многопольных мокрых электрофильтрах обычно промывается только одно из полей, поэтому через такой электрофильтр можно продолжать пропуск газа при некотором ухудшении эффективности очистки. Периодическая промывка применяется только в том случае, если осажденная на электродах пыль не склонна к схватыванию (к цементации) или хорошо растворяется промывкой жидкостью, так как в противном случае смыть образовавшиеся в период между промывками отложения на электродах не удается.

Непрерывная промывка осуществляется подачей на электроды минимально необходимого количества промывной жидкости для создания пленки, непрерывно смывающей осажденную пыль. Основным требованием к системе непрерывной промывки является недопущение электрического пробоя в электрофильтре за счет струйного стекания жидкости с заземленных узлов электрофильтра на коронирующую систему и в обратном направлении.

Непрерывная пленочная промывка применяется обычно в трубчатых электрофильтрах и обеспечивает смыв осадка только с осадительных электродов (рис. 6.17). Вода подается в верхнюю часть аппарата, подводится к каждому из трубчатых осадительных электродов и через специальные переливные насадки тонкой пленкой стекает на внутреннюю поверхность трубы. Установлено, что для создания пленки путем перелива расход воды должен быть не менее 300 л/ч на 1 м периметра слива. Для облегчения создания условий пленочного орошения с учетом неравномерности раздачи воды по электродам иногда принимают расход воды на 20—30% выше указанного. Однако значительное превышение расхода воды по сравнению с минимальным недопустимо, так как может вызвать образование струй, сливающихся с нижнего

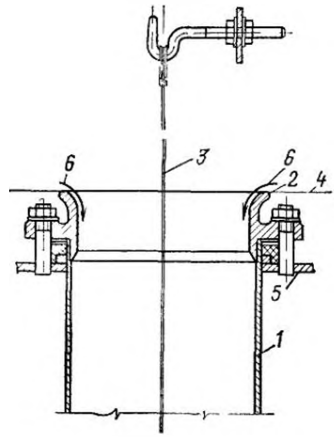


Рис. 6.17. Непрерывная пленочная промывка осадительного электрода:

1 — осадительный электрод; *2* — переливная насадка; *3* — коронирующий электрод; *4* — уровень воды в отсеке; *5* — дно отсека, заполненного водой, *6* — направление перелива

конца осадительного электрода на нижнюю раму коронирующих электродов. При правильной организации подачи воды на пленку и удалении нижней рамы от осадительного электрода на необходимое расстояние (не менее 500—700 мм) перекрытия не наблюдается.

Система пленочного орошения сложна в наладке, так как требует обезжиривания кромок насадок, установки их строго горизонтально в одном уровне как в каждой трубе, так и в электрофильтре в целом, и равномерной раздачи воды по всем электродам. Система быстро выходит из строя при неполадках (перебоях в снабжении водой, ухудшении качества подаваемой воды, остановках и т. п.). В связи с этим эксплуатация электрофильтров, снабженных системой пленочной промывки, осложнена.

Непрерывная форсуночная промывка (рис. 6.18) широко применяется в пластинчатых мокрых электрофильтрах. Вода при этом подается в активный объем электрофильтра в виде тонко раздробленных капель из форсунок, расположенных в верхней части аппарата, над электродами, а в горизонтальных электрофильтрах также

и в газовом потоке перед промываемыми полями.

Капельная влага, попадая в электрическое поле, осаждается равномерно на осадительных и частично на коронирующих электродах, благодаря чему создаются хорошие условия для смыва осадка. Расход воды на форсуночную промывку может быть принят меньшим, чем на пленочную,

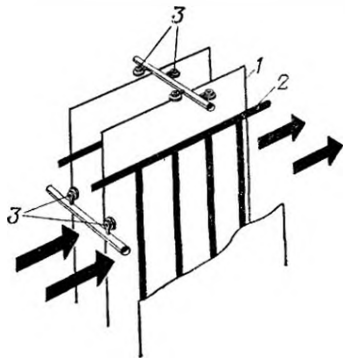


Рис. 6.18. Форсуночная непрерывная промывка в горизонтальном электрофильтре (схема):

1 — осадительный электрод; *2* — коронирующий электрод; *3* — форсунки распыливания промывочной жидкости

так как распределение ее по электродам в данном случае является более совершенным. Основным условием надежной работы форсуночной системы непрерывной промывки является тщательный контроль за работой форсунок Частичная забивка форсунки может привести к образованию сплошной струи на выходе из форсунки и электрическому пробою, а полная забивка форсунки — к образованию неорошаемого участка на электродах, что выводит работу электрофильтра из нормального режима.

В электрофильтрах с непрерывной промывкой возможно наряду с этим наличие и периодической промывки для смыва отложений с тех поверхностей, на которые не воздействует система непрерывной промывки. В особенности это относится к пленочной системе промывки, которая смывает осажденную пыль только с осадительных электродов, и поэтому периодическая промывка системы коронирующих электродов в таких аппаратах необходима

Системы электрической изоляции электрофильтров

Изоляторы электрофильтров работают в условиях запыленной среды, содержащей пары кислот и воды, и для их нормальной работы необходима соответствующая защита от воздействия этой среды. Поэтому изоляторы обычно устанавливаются вне газового потока в специальных коробках, причем принимаются меры, препятствующие циркуляции между объемом, в котором установлен изолятор, и основным объемом электрофильтра. Таким образом достигается снижение возможности загрязнения изоляторов.

Важнейшим условием, обеспечивающим надежность изоляторов, является поддержание температуры их поверхности на таком уровне, чтобы не происходила конденсация паров из газа, так как присутствие влаги на запыленной поверхности изолятора неизбежно приводит к пробою.

В сухих электрофильтрах необходимые температурные условия в изоляторных коробках достигаются за счет обогрева их стенок проходящим через электрофильтр газом, а дополнительные нагревательные устройства используют только при пусках электрофильтра, за исключением некоторых специальных случаев, когда требуется постоянный обогрев.

В мокрых электрофильтрах постоянный обогрев изоляторов необходим почти во всех случаях. Обычно изоляторные коробки мокрых электрофильтров выполняются так, чтобы обеспечить в них температуру выше, чем в самом электрофильтре, причем температурный режим в коробках должен быть подвержен постоянному контролю.

Наиболее сложной задачей является поддержание работоспособности изоляторов в том случае, если улавливаемая пыль является проводящей даже в сухом виде (например, сажа, угольная пыль). При этом надо исключить запыление поверхности изоляторов, что достигается применением специальных систем с наддувом чистого газа или воздуха в изоляторные коробки

Узлы, обеспечивающие электрическую изоляцию коронирующих систем электрофильтра и их механизмов встряхивания, являются важным элементом аппаратов. Конструкции узлов изоляции сухих элек-

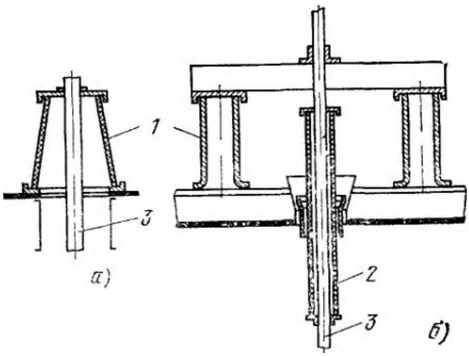


Рис 6.19. Изоляторные узлы электрофильтров·

а — с опорным изолятором; *б* — с промежуточным проходным изолятором; *1* — опорный изолятор; *2* — изолятор проходной; *3* — труба подвеса системы коронирующих электродов

трофильтров выполняются по двум схемам с опорно проходными изоляторами и с промежуточным проходным изолятором (кварцевой трубой)

Узел опорно-проходного изолятора (рис 6 19,*а*) выполняется с использованием конических изоляторов из кварца или фарфора Фарфоровые изоляторы прочнее кварцевых, и с этой точки зрения надежность их значительно выше, особенно при больших нагрузках Однако диэлектрические характеристики фарфора снижаются при повышении температуры значительно быстрее, чем кварца Поэтому применение фарфоровых изоляторов ограничивается температурой 250—350 °С, причем даже для указанных температур изоляторы должны выполняться из специальных сортов фарфора, сохраняющих свои диэлектрические параметры Размер нижнего основания изолятора определяется необходимостью прохода трубы подвеса системы коронирующих электродов и находится в пределах 300—350 мм Труба подвеса закрепляется на верхней шапке изолятора, через которую нагрузки от системы передаются на изолятор Высота изолятора составляет 500—600 мм

Особенностью рассматриваемого узла является то, что внутренняя полость изолятора сообщается с газовым потоком, а наружная поверхность — с атмосферным воздухом В связи с этим такие узлы применяются в электрофильтрах, если кислотная точка росы очищаемых газов не превышает 120—150 °С, поскольку поддерживать температуру стенки изолятора на более высоком уровне практически сложно

Узел с промежуточным проходным изолятором (рис 6 19,*б*) применяется, если очищаемые газы имеют высокую температуру и в них содержатся компоненты которые конденсируются при температурах выше 200 °С (например, серосодержащие газы обжиговых печей, в которых конденсация кислоты происходит при температуре 250—300 °С)

В качестве проходного изолятора используется кварцевая труба, нижняя часть которой находится в газовом потоке и таким образом на ней поддерживается температура, достаточно высокая для предотвращения конденсации Опорные изоляторы в данном случае полностью размещаются в воздушной атмосфере при сравнительно низких температурах

Перспективным материалом для изоляторов электрофильтров являются некоторые сорта ситалла, хотя изделия из этого материала дороги

В ряде случаев в качестве изоляторов для отдельных элементов электрофильтров применяются изделия (в основном, трубы) из синтетических электроизоляционных материалов — фторопласта, стеклопластиков и т п В частности, стеклоэпоксидные электроизоляционные трубки обладающие высокой механической прочностью, используются в качестве изоляторов в механизмах встряхивания коронирующих электродов

Системы газораспределительных устройств электрофильтров

Газораспределительные устройства, обеспечивающие равномерное распределение газа по сечению аппарата и перегородки, предотвращающие перетоки газа помимо активной зоны электрофильтра через так называемые «неактивные зоны» имеют большое значение для эффективной работы электрофильтра

Создание равномерного газораспределения в электрофильтре осложняется тем, что аппарат разделен на большое количество параллельных газовых каналов причем собственное гидравлическое сопротивление этих каналов ничтожно и поэтому перераспределения газовых потоков между ними не происходит даже при большой неравномерности скоростей газа в них Для распределения газа по активному сечению электрофильтра применяются газораспределительные решетки, направляющие лопатки различного типа и другие устройства

Необходимость применения газораспределительных устройств и их тип определяются направлением подвода газа, соотношением между сечением электрофильтра и сечением подводящего газохода, а также возможной неравномерностью потока в подводящем газоходе (например, наличием поворотов вблизи входа газа в электрофильтр)

Для горизонтальных электрофильтров часто применяется центральный подвод газа к электрофильтру (рис 6 20,*а*) с установкой двух или трех вертикальных газораспределительных решеток Решетки представляют собой перфорированные стальные листы со свободным сечением отверстий в пределах 30—50% Поскольку решетка является рассредоточенным по сечению аппарата сопротивлением для пылегазового потока, перед ней происходит выпадение крупной пыли, которая частично осаждается на лобовой части решетки

Поэтому в ряде случаев на решетках устанавливаются встряхивающие механизмы, которые предотвращают налипание пыли Для того, чтобы надежно отвести пыль в систему пылеудаления, перед электрофильтром часто предусматривается форкамера (рис 6 20 *а*)

Сложнее осуществить отвод пыли если решетки располагаются непосредственно в диффузоре, так как существует опасность пылевых отложений в нижней части решетки Если расширить просвет между нижним концом решетки и стенкой диф-

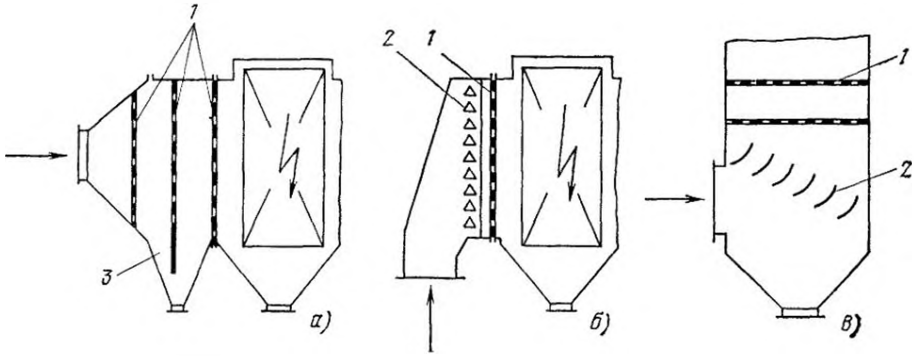


Рис. 6 20. Схемы газораспределительных устройств:

а — центральный подвод газа в горизонтальном электрофильтре; *б* — подвод газа снизу в горизонтальном электрофильтре, *в* — подвод газа сбоку в вертикальном электрофильтре; *1* — газораспределительная решетка, *2* — лопатки; *3* — бункер форкамеры

фузора, то условия газораспределения ухудшаются из-за перетока большого количества газа через этот просвет.

В установках очистки газов тепловых электростанций распространенным является подвод газа к электрофильтру снизу (рис 6 20,*б*). В этом случае в систему газораспределения включаются специальные лопатки, обеспечивающие распределение газа по сечению после поворота с последующей установкой одной или двух решеток

Подвод газа к вертикальным электрофильтрам осуществляется в большинстве случаев сбоку.

Газораспределяющее устройство состоит из системы решеток, перед которыми часто устанавливаются направляющие лопатки. Газораспределительные решетки вертикальных электрофильтров для предотвращения на них отложений в ряде случаев выполняются щелевыми из элементов уголкового профиля.

Обычно газораспределительные устройства предусматриваются в конструкции электрофильтра и поставляются в комплекте с внутренним оборудованием. Однако на равномерность распределения газа большое влияние оказывают условия подвода газа к аппарату Поэтому при проектировании установок электрофильтров предусматривается, чтобы подводящие участки газоходов обеспечивали в совокупности с внутренней системой газораспределения электрофильтра условия равномерной раздачи газа по сечению аппарата. В случае необходимости в подводящих газоходах устанавливаются дополнительные газораспределительные устройства.

Рекомендации по расчету и выбору газораспределительных устройств и подводящих участков газоходов приведены в [6 11].

Для сложных случаев, когда расчет систем затруднен и в установке применяется параллельно несколько электрофильтров, конструкция газораспределительных устройств для создания равномерного поля скоростей между соседними электрофильтрами и внутри каждого из них определяется аэродинамическим моделированием системы

Для обеспечения высокой эффективности улавливания в электрофильтрах важное значение имеет предотвращение проскока неочищенного газа через неактивные зоны. В горизонтальных электрофильтрах такими зонами являются полости над электродной системой и под ней (включая пылесборные бункера), а также промежутки между крайними осадительными электродами и корпусом.

В вертикальных пластинчатых электрофильтрах неактивные зоны образуются промежутками между крайними электродами (осадительными и коронирующими) и корпусом. Только в трубчатых электрофильтрах неактивные зоны могут быть исключены полностью, что позволяет добиться в них высокой эффективности улавливания.

Эффективность электрофильтра достигает 98—99,5%, поэтому проскок даже нескольких процентов неочищенного газа резко скажется на общей эффективности аппарата. С другой стороны, выполнить глухое перекрытие неактивных зон в пластинчатых электрофильтрах не представляется возможным в связи со спецификой конструкции электрофильтра — необходимостью соблюдения пробойных промежутков и сохранения зазоров между электродами и корпусом для нормального встряхивания и осуществления центровки

Поэтому в конструкции электрофильтра обычно предусматривается система перегородок и щитков, создающих лабиринтные

уплотнения и тем самым сводящих до ми нимума перетоки газа Пренебрежение установкой таких перегородок может значительно снизить эффективность даже хорошо работающего электрофильтра

6.3. ТИПЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

Промышленностью освоен выпуск электрофильтров следующих основных типов

Сухие электрофильтры

Электрофильтры серии УГ (рис 6 21, табл 6 1) — унифицированные горизонтальные сухие электрофильтры для очистки газов с температурой до 250 °С, выпускаются взамен применявшихся ранее электрофильтров типов ДГПН, ПГД, АП, ПГДС, Ц и предназначены для очистки от пыли дымовых газов, аспирационного воздуха и других промышленных газов

Электрофильтры серии УГ в зависимости от активной высоты поля могут быть трех габаритов: УГ1 с активной высотой поля 4,2 м, УГ2 с активной высотой поля 7,5 м, УГ3 с активной высотой поля 12,0 м.

Электрофильтры первого и второго габаритов имеют активную длину полей 2,5 м, электрофильтры третьего габарита — 4 м

Электрофильтры первого габарита выпускаются двух- и трехпольными, а второго и третьего габаритов — трех- и четырехпольными

Осадительные электроды в электрофильтрах УГ — из профилированных тонкостенных широкополосных (ширина элемента 350 мм) элементов открытого профиля с нижним молотковым встряхиванием

Коронирующие электроды — рамной конструкции, с боковым подвесом на кварцевых опорно проходных изоляторах и молотковым встряхиванием Коронирующие электроды электрофильтров УГ3 встряхиваются в двух уровнях.

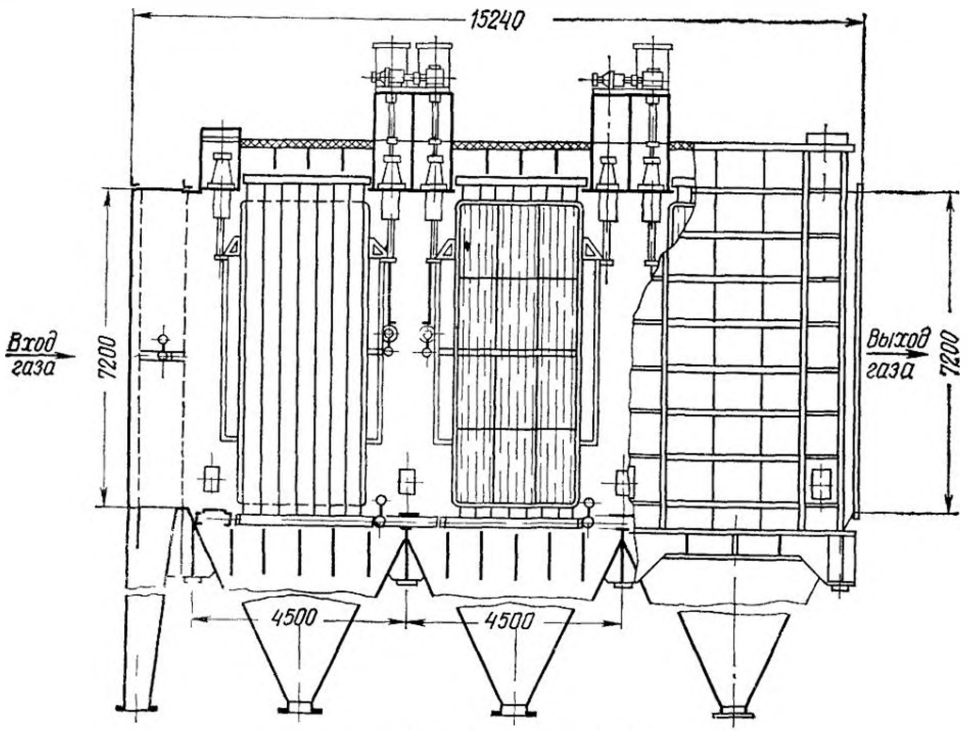


Рис 6 21. Электрофильтр УГ

Элементы коронирующих электродов — игольчатые из стальной ленты с выштампованными остриями Шаг между одноименными электродами — 275 мм

Корпуса электрофильтров УГ рассчитаны на работу под разрежением до 3—4 кПа и заполнение бункеров пылью с насыпной массой до 1500 кг/м³. Разработаны усиленные корпуса, рассчитанные на улавливание пыли с насыпной массой до 3500 кг/м³ и разрежение до 10—15 кПа

Корпуса снабжены пирамидальными бункерами для сбора уловленной пыли,

Таблица 6.1. **Технические характеристики электрофильтров серии УГ**

Марка электрофильтра	Активная высота электродов, м	Активная длина поля, м	Количество полей, шт.	Площадь активного сечения, м²	Общая площадь осаждения, м²	Габаритные размеры, м		
						Длина	Ширина (по осям опор)	Высота
УГ1-2-10	4,2	2,51	2	10	420	9,6	3,0	12,3
УГ1-3-10	4,2	2,51	3	10	630	14,1	3,0	12,3
УГ1-2-15	4,2	2,51	2	15	630	9,6	4,5	12,3
УГ1-3-15	4,2	2,51	3	15	940	14,1	4,5	12,3
УГ2-3-26	7,5	2,51	3	26	1690	14,1	4,5	15,4
УГ2-4-26	7,5	2,51	4	26	2250	18,6	4,5	15,4
УГ2-3-37	7,5	2,51	3	37	2360	14,1	6,0	15,4
УГ2-4-37	7,5	2,51	4	37	3150	18,6	6,0	15,4
УГ2-3-53	7,5	2,51	3	53	3370	14,1	9,0	15,4
УГ2-4-53	7,5	2,51	4	53	4500	18,6	9,0	15,4
УГ2-3-74	7,5	2,51	3	74	4700	14,1	12,0	15,4
УГ2-4-74	7,5	2,51	4	74	6300	18,6	12,0	15,4
УГ3-3-88	12,0	3,95	3	88	9200	18,8	9,0	21,8
УГ3-4-88	12,0	3,95	4	88	12 300	24,8	9,0	21,8
УГ3-3-115	12,0	3,95	3	115	12 100	18,8	12,0	21,8
УГ3-4-115	12,0	3,95	4	115	16 100	24,8	12,0	21,8
УГ3-3-177	12,0	3,95	3	177	18 400	18,8	18,0	21,8
УГ3-4-177	12,0	3,95	4	177	24 600	24,8	18,0	21,8
УГ3-3-230	12,0	3,95	3	230	24 200	18,8	24,0	21,8
УГ3-4-230	12,0	3,95	4	230	32 200	24,8	24,0	21,8
УГ3-3-265	12,0	3,95	3	265	27 600	18,8	27,0	21,8
УГ3-4-265	12,0	3,95	4	265	36 900	24,8	27,0	21,8

в электрофильтрах первого габарита предусмотрена возможность применения щелевых бункеров с использованием цепных или шнековых транспортеров для выгрузки пыли

В комплекте с электрофильтром предусмотрена поставка (в случае необходимости) узлов виброотряхивания бункеров и встряхивания газораспределительных решеток.

В настоящее время осуществляется переход на новую унифицированную серию электрофильтров ЭГА.

Электрофильтры серии ЭГА (табл. 6.2) — горизонтальные, модификации А, изготавливаются в широком диапазоне типоразмеров при глубокой унификации узлов и деталей, что позволяет обеспечить наилучшие технико-экономические показатели установок электрогазоочистки. Максимальная температура применения 330 °С. Электродная система составлена из широкополосных (ширина элемента 640 мм) элементов открытого профиля и рамных коронирующих электродов с игольчатыми элементами. Шаг между одноименными электродами — 300 мм.

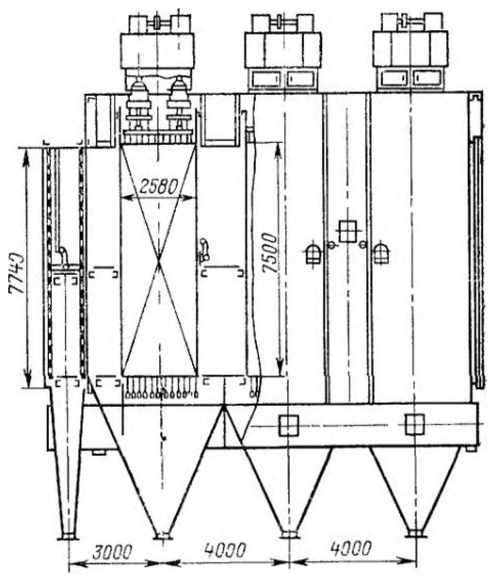


Рис. 6 22. Электрофильтр УГТ

Таблица 6.2. **Техническая характеристика электрофильтров серии ЭГА**

Марка электрофильтра	Количество газовых проходов, шт.	Активная высота электродов, м	Активная длина поля, м	Количество полей, шт.	Площадь активного сечения, м²	Общая площадь осаждения, м²	Габаритные размеры		
							Длина	Ширина (по осям опор)	Высота
ЭГА1-10-6-4-2	10	6,0	2,56	2	16,5	630	9,26	3,2	12,4
ЭГА1-10-6-4-3	10	6,0	2,56	3	16,5	950	13,44	3,2	12,4
ЭГА1-10-6-6-2	10	6,0	3,84	2	16,5	950	11,82	3,2	13,4
ЭГА1-10-6-6-3	10	6,0	3,84	3	16,5	1430	17,28	3,2	13,4
ЭГА1-14-7,5-4-3	14	7,5	2,56	3	28,7	1660	13,44	4,4	13,9
ЭГА1-14-7,5-4-4	14	7,5	2,56	4	28,7	2210	17,62	4,4	13,9
ЭГА1-14-7,5-6-2	14	7,5	3,84	2	28,7	1660	11,82	4,4	14,9
ЭГА1-14-7,5-6-3	14	7,5	3,84	3	28,7	2480	17,28	4,4	14,9
ЭГА1-20-7,5-4-3	20	7,5	2,56	3	41,0	2360	13,44	6,2	15,4
ЭГА1-20-7,5-4-4	20	7,5	2,56	4	41,0	3160	17,62	6,2	15,4
ЭГА1-20-7,5-6-2	20	7,5	3,84	2	41,0	2360	11,82	6,2	15,4
ЭГА1-20-7,5-6-3	20	7,5	3,84	3	41,0	3550	17,28	6,2	15,4
ЭГА1-20-9-6-2	20	9,0	3,84	2	49,0	2830	11,82	6,2	16,9
ЭГА1-20-9-6-3	20	9,0	3,84	3	49,0	4240	17,28	6,2	16,9
ЭГА1-20-9-6-4	20	9,0	3,84	4	49,0	5660	22,74	6,2	16,9
ЭГА1-30-7,5-4-3	30	7,5	2,56	3	61,4	3550	13,44	9,2	14,9
ЭГА1-30-7,5-4-4	30	7,5	2,56	4	61,4	4730	17,62	9,2	14,9
ЭГА1-30-7,5-6-2	30	7,5	3,84	2	61,4	3550	11,82	9,2	14,9
ЭГА1-30-7,5-6-3	30	7,5	3,84	3	61,4	5320	17,28	9,2	14,9
ЭГА1-30-9-6-2	30	9,0	3,84	2	73,4	4240	11,82	9,2	16,4
ЭГА1-30-9-6-3	30	9,0	3,84	3	73,4	6360	17,28	9,2	16,4
ЭГА1-30-9-6-4	30	9,0	3,84	4	73,4	8480	22,74	9,2	16,4
ЭГА1-30-12-6-3	30	12,0	3,84	3	97,4	8440	17,28	9,2	19,4
ЭГА1-30-12-6-4	30	12,0	3,84	4	97,4	11 250	22,74	9,2	19,4
ЭГА1-40-7,5-4-3	40	7,5	2,56	3	81,9	4730	13,44	12,2	15,4
ЭГА1-40-7,5-4-4	40	7,5	2,56	4	81,9	6310	17,62	12,2	15,4
ЭГА1-40-7,5-6-2	40	7,5	3,84	2	81,9	4730	11,82	12,2	15,4
ЭГА1-40-7,5-6-3	40	7,5	3,84	3	81,9	7100	17,28	12,2	15,4
ЭГА1-40-9-6-2	40	9,0	3,84	2	97,9	5650	11,82	12,2	16,9
ЭГА1-40-9-6-3	40	9,0	3,84	3	97,9	8480	17,28	12,2	16,9
ЭГА1-40-9-6-4	40	9,0	3,84	4	97,9	11 310	22,74	12,2	16,9
ЭГА1-40-12-6-3	40	12,0	3,84	3	129,8	11 250	17,28	12,2	19,9
ЭГА1-40-12-6-4	40	12,0	3,84	4	129,8	15 000	22,74	12,2	19,9
ЭГА2-48-12-6-3	48	12,0	3,84	3	155,8	13 500	17,28	15,2	19,9
ЭГА2-48-12-6-4	48	12,0	3,84	4	155,8	18 000	22,74	15,2	19,9
ЭГА2-56-12-6-3	56	12,0	3,84	3	181,7	15 750	17,28	17,6	19,9
ЭГА2-56-12-6-4	56	12,0	3,84	4	181,7	21 000	22,74	17,6	19,9
ЭГА2-76-12-6-3	76	12,0	3,84	3	246,6	21 400	17,28	23,6	19,9
ЭГА2-76-12-6-4	76	12,0	3,84	4	246,6	28 500	22,74	23,6	19,9
ЭГА2-88-12-6-3	88	12,0	3,84	3	285,6	24 750	17,28	27,2	19,9
ЭГА2-88-12-6-4	88	12,0	3,84	4	285,6	33 000	22,74	27,2	19,9

Таблица 6.3. **Технические характеристики электрофильтров серии УГТ и ОГП**

Наименование	Марка электрофильтра					
	ОГП-4-8	ОГП-4-16	УГТ1-3-30	УГТ1-3-40	УГТ1-3-60	УГТ1-3-80
Площадь активного сечения, м²	8	16	30	40	60	80
Количество полей, шт.	4	4	3	3	3	3
Шаг между одноименными электродами, мм	260	260	260	260	260	260
Активная высота электродов, м	4,5	4,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Активная длина поля, м	1,5	1,5	2,58	2,58	2,58	2,58
Общая площадь осаждения осадительных электродов, м²	380	760	1860	2560	3720	5120
Габаритные размеры, м:						
длина	14,4	14,4	14,0	14,0	14,0	14,0
высота	10,8	12,6	17,0	18,7	17,0	18,7
ширина (по осям крайних опор)	2,0	4,0	4,5	6,0	9,0	12,0

В электрофильтрах по ширине размещается от 10 до 88 газовых проходов. Номинальная высота электродов принимается из ряда 6; 7,5; 9; 12 м.

Осадительный электрод набирается из 4—8 элементов, что дает активную длину поля соответственно 2,56; 3,2; 3,84; 4,48; 5.12 м. Количество полей — от двух до четырех.

Электрофильтры серии ЭГА по компоновке электродных систем и встряхивающих механизмов не имеют принципиальных отличий от электрофильтров серии УГ, однако применение целого ряда усовершенствований позволило значительно улучшить характеристики новых электрофильтров в части снижения их массы и увеличения уровня надежности.

Электрофильтры серии УГТ (рис. 6.22, табл. 6 3) — унифицированные горизонтальные высокотемпературные сухие, предназначены для очистки от пыли газов с температурой до 425 °С и применяются в химической промышленности, в черной и цветной металлургии и цементной промышленности.

Промышленностью освоен выпуск электрофильтров серии УГТ первого габарита

Таблица 6.4. **Технические характеристики унифицированных вертикальных электрофильтров серии УВ и УВВ**

Наименование	Марка электрофильтра									
	УВ-2×10	УВ-3×10	УВ-1×16	УВ-2×16	УВ-2×24	УВ-3×24	УВВ-8	УВВ-12	УВВ-16	УВВ-2×12
Площадь активного сечения, м²	21	32	16	32	48	72	8	12	16	24
Количество секций, шт.	2	3	1	2	2	3	1	1	1	2
Количество полей, шт.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Шаг между одноименными электродами, мм	275	275	275	275	275	275	350	350	350	350
Активная длина поля, м	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	6,2	6,2	6,2	6,2
Общая площадь осаждения осадительных электродов, м²	1200	1800	900	1800	2600	3900	285	430	570	870
Габаритные размеры, м: ширина×длина (по осям опор)	6,0×4,5	9,0×4,5	4,5×4,5	9,0×4,5	9,0×6,0	13,5×6,0	3,0×3,15	4,5×3,15	6,0×3,15	9,0×3,15
высота*	19,9	19,9	19,9	19,9	21,4	21,4	20,0/18,6	20,0/19,3	20,0	20,0/19,3

* В числителе — для электрофильтров с нижним подводом газа, в знаменателе — для электрофильтров с боковым подводом газа.

с активной высотой поля 7,5 м. Электрофильтры УГТ имеют активную длину полей 2,5 м и выпускаются трехпольными.

Осадительные электроды — прутковые с молотковым встряхиванием по средней части электрода. Коронирующие электроды — свободно подвешенные с грузовым натяжением, из проволоки диаметром 2,2 мм, с молотковым встряхиванием верхней рамы и подвесом системы на вынесенных из зоны электрофильтра опорных фарфоровых изоляторах, с применением в качестве проходных изоляторов кварцевых труб.

Корпуса электрофильтров рассчитаны на разрежение 4 кПа и насыпную массу пыли до 2000 кг/м³. Бункера корпусов — пирамидальные или щелевые

Электрофильтры серии ОГП (табл. 6 3) — горизонтальные сухие электрофильтры, предназначены, главным образом, для улавливания огарковой пыли из газов, отходящих от печей обжига флотационного колчедана в сернокислотном производстве при температуре до 425 °С, однако могут применяться и в других процессах при аналогичных условиях

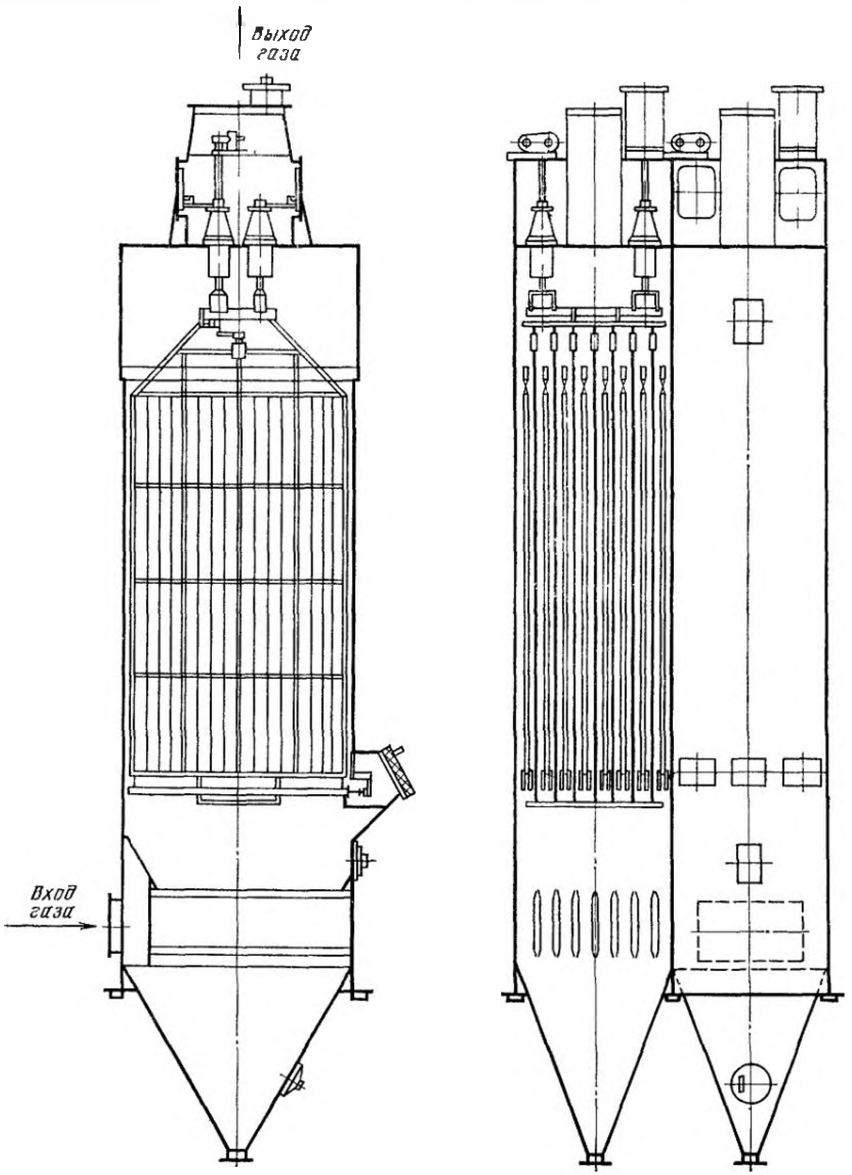


Рис. 6.23. Электрофильтр УВ

Электрофильтры имеют активную высоту поля 4,5 м и выпускаются четырехпольными с полями активной длиной 1,5 м. В специальных случаях возможно применение пятипольных аппаратов.

Принципиальное конструкционное решение осадительных и коронирующих электродов такое же, что и электрофильтров УГТ.

В настоящее время электрофильтры ОГП и УГТ снимаются с производства и заменяются электрофильтрами ЭГТ (электрофильтры горизонтальные, модификация Т), в которых прутковые осадительные электроды заменяются пластинчатыми электродами открытого профиля, а проволочные коронирующие электроды — ленточными электродами с выштампованными зубцами.

Электрофильтры серии УВ (рис. 6.23, табл. 6.4) — унифицированные вертикальные пластинчатые сухие для очистки газов при температуре до 250 °С, выпускаются взамен применявшихся ранее электрофильтров типа ДВП и ДВПН и предназначены для очистки от пыли дымовых газов, аспирационного воздуха и других промышленных газов при условиях, благоприятных для работы электрогазоочистительных установок (невысокие запыленности очищаемого газа, отсутствие мелких частиц в очищаемом газе, хорошая отряхиваемость пыли с электродов, невысокие скорости в активном сечении, не превышающие 1 м/с).

Электрофильтры имеют одно поле активной длиной 7,4 м и разделены по газу на 1—3 секции.

Активное сечение одной секции 10, 16 и 24 м². Секции сечением 10 и 16 м² набираются из электродов шириной 4 м, а секции сечением 24 м² — из электродов шириной 6 м.

Осадительные электроды в электрофильтрах серии УВ пластинчатые из элементов открытого профиля с нижним молотковым встряхиванием.

Коронирующие электроды — рамные с верхним подвесом и молотковым встряхиванием.

Основные конструктивные элементы электрофильтров серии УВ, в том числе профиль и размеры элементов осадительных электродов, узлы их подвеса, коронирующие электроды, узлы механизмов встряхивания, унифицированы с соответствующими элементами электрофильтров серии УГ.

Электрофильтры серии УВВ (табл. 6.4) — унифицированные вертикальные пластинчатые сухие электрофильтры для улавливания из газов угольной пыли при температуре до 130 °С.

Так же как в электрофильтрах серии УВ, основные элементы унифицированы с соответствующими элементами электрофильтров серии УГ. Поскольку угольная пыль хорошо встряхивается, встряхивающие механизмы электрофильтров серии УВВ — облегченные.

Особенностью электрофильтров серии УВВ является то, что из-за возможного возникновения взрывоопасности при накоплении угольной пыли корпуса электрофильтров выполнены в виде шахты, открытой в атмосферу. Это предотвращает разрушение корпуса при «хлопках». Кроме того, все внутренние устройства электрофильтров выполнены таким образом, чтобы избежать накопления пыли. Это достигается исключением горизонтальных площадок или укрытием их скошенными козырьками, а также устройством стенок бункера с большими углами откосов.

Межэлектродное расстояние для уменьшения вероятности возникновения искрового пробоя в электрофильтрах серии УВВ принято увеличенным до 350 мм вместо 275 мм.

Кроме рассмотренных унифицированных и серийных сухих электрофильтров общего назначения в промышленности применяется несколько типов специальных сухих электрофильтров.

Электрофильтр типа СГ — горизонтальный пластинчатый сухой электрофильтр, предназначен в основном для улавливания сажи из взрывоопасных газов сажевого производства при температуре до 250 °С и избыточном давлении до 100 Па.

Осадительные электроды — прутковые, коронирующие — свободно подвешенные провода диаметром 2 мм с грузовым натяжением. Встряхивание электродов — ударно-молотковое.

К особенностям электрофильтра следует отнести наличие над каждым из полей предохранительных клапанов большого сечения, а также систему обдувки изоляторов, предотвращающую отложение на них улавливаемой сажи.

Электрофильтры типа ТС — вертикальные трубчатые сухие электрофильтры, предназначены для улавливания тонкой пыли при температуре до 200 °С в ряде производств (например, при производстве хромпика, оловянно-свинцовых и других солей и т. п.).

Электрофильтры двухпольные, причем первое поле очищаемый газ проходит сверху вниз, а второе — снизу вверх. Осадительные электроды выполнены из труб внутренним диаметром 300 мм и встряхиваются ударами молотков. Коронирующие электроды — свободно подвешенные провода диаметром 2 мм с грузовым натяжением — также снабжены ударно-молотковым встряхиванием.

Мокрые электрофильтры

Электрофильтры типа С (табл. 6.5) и ПГ (рис. 6.24, табл. 6.5) — однопольные вертикальные трубчатые электро-

Таблица 6.5. Технические характеристики мокрых трубчатых электрофильтров типа С, ПГ и ДМ

Наименование	Марка электрофильтра				
	С-5,0	С-7,2	ПГ-8	ДМ-316	ДМ-600
Площадь активного сечения, м²	5,0	7,2	7,8	13,3	25,0
Количество секций, шт.	1	1	1	2	4
Количество полей, шт.	1	1	1	1	1
Внутренний диаметр осадительного электрода, мм	250	250	250	230	230
Активная длина поля, м	3,5	3,5	3,5	4,5	4,5
Количество осадительных электродов, шт.	104	148	156	316	600
Активная длина коронирующих электродов, м	364	518	545	1420	2700
Расход воды на промывку, м³/ч:					
непрерывную	—	—	—	75—100	150—200
периодическую (на 1 секцию)	—	—	120	200	200
Давление газа (расчетное), МПа	0,03	0,03	0,0008	0,25	0,25
Температура газа максимальная, °С	60	60	60	60	60
Размеры, м:					
диаметр корпуса	3,9	4,6	5,0	7,0	10,0
высота	13,3	16,2	15,5	21,8	27,4

фильтры в цилиндрическом корпусе, рассчитаны на работу под давлением до 0,03 МПа при температуре до 60 °С. Электрофильтры типа С предназначены для улавливания смолы из газов коксохимических производств и генераторных газов, а электрофильтры типа ПГ — для улавливания смолы и пыли из генераторных газов или для аналогичных условий

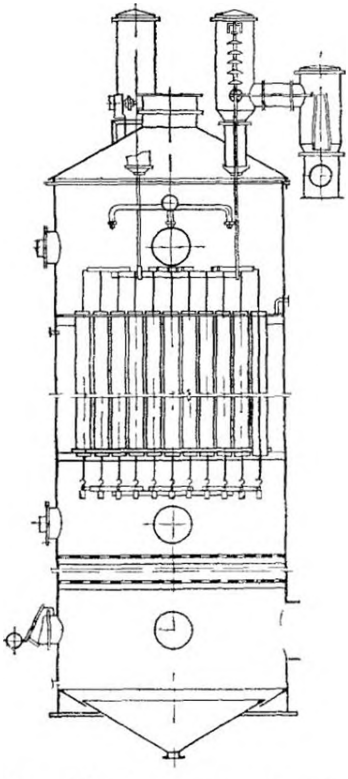


Рис. 6 24. Электрофильтр ПГ

Осадительные электроды выполняются из стальных труб внутренним диаметром от 250 до 260 мм, коронирующие электроды — из нихромовой проволоки диаметром 3 мм с грузовым натяжением

Система коронирующих электродов подвешивается к корпусу на тарельчатых фарфоровых изоляторах, размещенных в обогреваемых коробках, токоподвод в электрофильтр выполнен с помощью специальных проходных изоляторов

Электрофильтры типа ПГ снабжены системой периодической промывки, которая состоит из коллектора с форсунками, размещенного над активной зоной В электрофильтрах типа С этот узел не предусмотрен, так как улавливаемая смола стекает с электродов самостоятельно

Электрофильтры типа ДМ (табл 6 5) — однопольные, многосекционные, вертикальные, трубчатые электрофильтры предназначены для тонкой очистки от пыли предварительно охлажденного и увлажненного доменного газа при температуре от 45 до 60 °С. Цилиндрические корпуса рассчитаны на давление до 0,15 или 0,25 МПа

Осадительные электроды выполнены из труб внутренним диаметром около 230 мм, а коронирующие — из мягкой медной проволоки диаметром 3 мм

Электрофильтры снабжены системами непрерывной пленочной промывки осадительных электродов и периодической форсуночной промывки всего электрофильтра Подвесные и проходные изоляторы системы коронирующих электродов выполнены из фарфора и расположены в обогреваемых паром изоляторных коробках

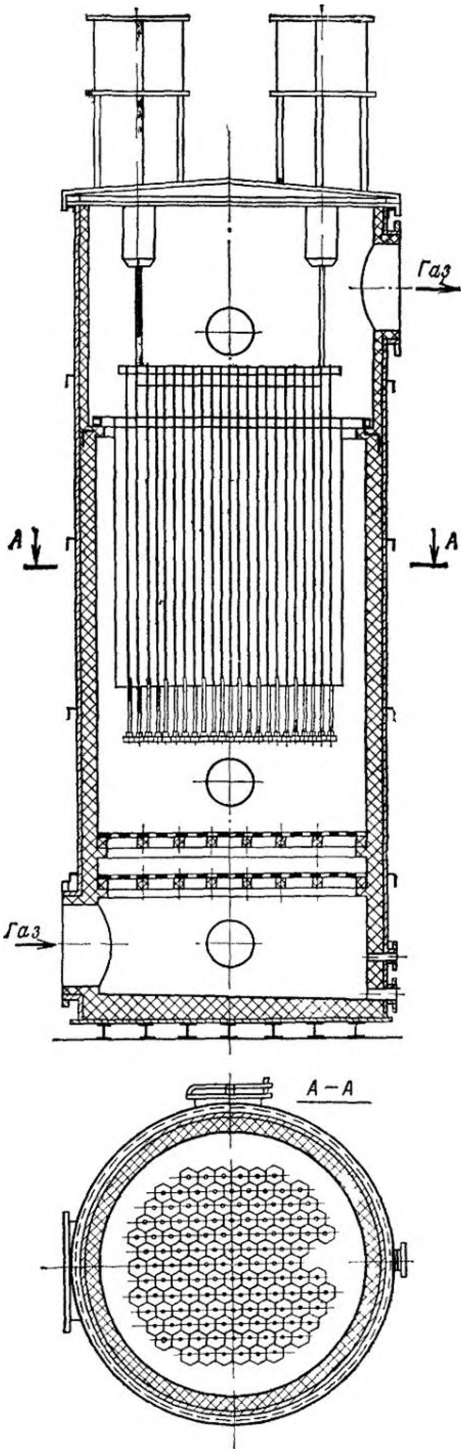


Рис. 6.25 Электрофильтр ШМК

Электрофильтры типа СПМ-8 — вертикальные, пластинчатые, однопольные электрофильтры для очистки от сажи газов в производстве ацетилена методом термоокислительного пиролиза, выполнены в прямоугольном корпусе и рассчитаны на давление до 0,015 МПа и температуру до 60°С.

Осадительные электроды плоские из стальных листов толщиной 3 мм, закрепленных в рамках из полосовой стали Коронирующие электроды — нихромовая проволока диаметром 3 мм, свободно подвешены с грузовым натяжением Аппарат снабжен системой непрерывной форсуночной промывки, которая состоит из восьми форсунок тонкого распыла, расположенных над активной зоной электрофильтра Фарфоровые опорно-проходные изоляторы, на которых подвешена система коронирующих электродов, размещены в обогреваемых коробках

Электрофильтры типа ШМК (рис 6 25, табл. 6 6) — вертикальные, однопольные, с шестигранными трубчатыми осадительными электродами, предназначены для очистки печного газа контактного отделения в производстве серной кислоты от тумана серной кислоты, окислов мышьяка и селена

Аппараты рассчитаны на разрежение до 6 кПа и температуру до 50 °С. Система осадительных электродов представляет собой пакет выполненных в виде сот свинцовых шестигранников, подвешенных верхней частью к освинцованной трубной решетке. Коронирующий электрод — освинцованная

Таблица 6.6. Технические характеристики электрофильтров типа ШМК

Наименование	Марка электрофильтра			
	ШМК-4,5	ШМК-6,6	ШМК-9,6	ШМК 14 6
Площадь активного сечения, м²	4,5	6,6	9,6	14,6
Количество секций, шт.	1	1	1	1
Количество полей, шт.	1	1	1	1
Активная длина поля, м	3,5	3,5	3,5	3,5
Общая площадь осаждения осадительных электродов, м²	254	373	541	820
Размеры электрофильтра, м:				
наибольш. диаметр корпуса	3,6	4,0	4,9	5,4
высота	12,55	12,85	13,80	14,40

стальная проволока, причем освинцовка выполнена в виде звездочки

Система коронирующих электродов подвешивается на фарфоровых изоляторах. Корпус электрофильтра — стальной, цилиндрический, с кислотостойкой футеровкой

Применение электродов с фиксированными разрядными точками позволяет интенсифицировать процесс очистки газа в этих электрофильтрах и увеличить их производительность, не уменьшая степень улавливания Это предложение реализовано в электрофильтрах типа ШМК с игольчатыми электродами (ШМК-6,6И, ШМК 9,6И)

Электрофильтры ЭВМТр1-3-3,6 БВК — вертикальные, трубчатые, однопольные электрофильтры в цилиндрическом корпусе, предназначены для улавливания кислотного тумана из хвостовых газов башенных систем сернокислотного производства. Аппараты рассчитаны на избыточное давление 10 кПа и температуру до 50 °С Осадительные электроды — стальные трубы с внутренним диаметром 260 мм Коронирующие электроды системы БВК (без влияния кромок) выполнены из жестких элементов с продольными коронирующими ребрами Элементы за нижний обрез осадительных электродов не выступают и закреплены только в верхней раме Нижний конец каждого осадительного электрода снабжен кольцевым желобом для сбора и отвода осажденной кислоты во избежание вторичного уноса капель при срыве их с нижней кромки электрода

Применение электродов системы БВК позволяет поднять скорость газа в активном сечении до 2—3 м/с, однако электрофильтр может быть использован только в том случае, если улавливаемый туман не образует отложений на поверхностях электродов В верхней части аппарата, над активной зоной, расположен коллектор с форсунками для периодической промывки электродов крепкой серной кислотой Изоляторы системы коронирующих электродов выполнены с применением фторопластовых труб Корпус стальной с кислотоупорной футеровкой

Электрофильтры типа ЦМВТ — вертикальные, трубчатые, однопольные электрофильтры предназначены для улавливания сернокислотного тумана из газов в производстве серной кислоты методом мокрого катализа Корпус аппарата — цилиндрический, стальной, с кислотоупорной футеровкой Осадительные электроды — чугунные трубы с внутренним диаметром 250 мм Коронирующие электроды выполнены звездчатой формы из ферросилидовых звеньев

Поставка электрофильтров перечисленных типов (перечень их уточняется ежегодно в соответствии с номенклатурой, выпускаемой заводами) осуществляется Управлением по разработке и производству газоочистного и пылеулавливающего оборудования — Управлением газоочистки Минхиммаша СССР по заявкам, оформленным в установленном порядке

Комплектность поставки определяется договором на поставку и комплектовочными ведомостями Обычно в комплект поставки включается внутреннее оборудование электрофильтров (без корпусов), электрооборудование системы электропитания (агрегат питания, высоковольтный кабель), а в ряде случаев и комплектующее оборудование установки, например пылевые затворы, затворы для отключения электрофильтра по газу и т п

Корпуса электрофильтров, как правило, в поставку не включаются и изготавливаются на заводах металлоконструкций или непосредственно на монтажной площадке, за исключением некоторых особых случаев

Управление газоочистки Минхиммаша СССР осуществляет также поставку некоторых специфических запасных деталей электрофильтров, в частности специальных изоляторов

При необходимости разработки электрофильтра нового типа заявка по установленной форме с технико-экономическим обоснованием необходимости проведения разработки нового типа аппарата направляется в Управление газоочистки Минхиммаша СССР

6.4 РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

Технологический расчет электрофильтров сводится к определению времени пребывания газа в электрофильтре или параметров, определяющих время пребывания (скорость газа и активная длина электрофильтра), с учетом всех факторов, влияющих на процесс улавливания частиц

Процесс осаждения частиц в электрофильтре состоит в том, что частица, движущаяся вместе с газовым потоком, получив электрический заряд, под воздействием сил электрического поля обретает в своем движении составляющую скорости, направленную в сторону осадительного электрода, которая называется скоростью дрейфа частицы Таким образом, для того чтобы осадить частицу на поверхность электрода, необходимо обеспечить определенное соотношение между скоростью газа и скоростью дрейфа частицы

В мокрых электрофильтрах при достижении частицами электродов процесс улавливания можно считать оконченным, так как частицы, будучи жидкими или смоченными жидкостью, прилипают к электродам и стекают по ним, отдавая свой заряд вследствие хорошей проводимости

В сухих электрофильтрах на процесс электрогазоочистки существенно влияет вторичный унос осажденных частиц из слоя,

а также унос частиц при встряхивании электродов

Кроме того, на эффективность работы электрофильтров значительное влияние оказывает проскок частиц через так называемые «неактивные» зоны, а также уровень надежности механического и электрического оборудования

Теоретическое выражение для парциальной эффективности электрофильтра, учитывающее только процесс осаждения частиц, предложено Дейчем

для трубчатого электрофильтра

$$\eta_п = 1 - e^{-\frac{2\omega L}{wR}}, \qquad (6\ 3)$$

для пластинчатого электрофильтра

$$\eta_п = 1 - e^{-\frac{\omega L}{wH}}; \qquad (6.4)$$

здесь ω — скорость дрейфа частиц, м/с, w — скорость газа в активном сечении, м/с; L — активная длина электрофильтра, м; R — радиус трубчатого осадительного электрода, м, H — расстояние между коронирующим электродом и пластинчатым осадительным электродом, м

Формулы выведены, исходя из предположений равномерного распределения концентраций пыли по сечению аппарата, постоянства скорости газового потока и скорости дрейфа частиц во всех точках электрофильтра, отсутствия вторичного уноса осажденной пыли, и не учитывают некоторые другие явления в электрофильтре В результате этого при сравнении экспериментальных и теоретических зависимостей эффективности от скорости газа и других параметров наблюдаются значительные расхождения

Если ввести понятие удельной поверхности осаждения

$$f = S/V, \qquad (6\ 5)$$

где S — площадь поверхности осаждения осадительных электродов, м², V — объемный расход очищаемых газов м³/с исходя из (6 3) и (6 4), в общем виде для любого электрофильтра можно записать

$$\eta_п = 1 - e^{-\omega f}. \qquad (6.6)$$

Из (6 6) видно, что для определения эффективности электрофильтра необходимо при известной удельной поверхности осаждения знать скорость дрейфа частиц (рис 6 26)

Теоретический расчет скорости дрейфа мало надежен, так как эта скорость зависит от большого числа параметров, которые нельзя точно учесть К тому же формула Дейча, как было упомянуто, не учитывает ряда факторов, действующих в электрофильтре Поэтому на практике формулу (6 6) используют в том случае, если имеется опыт эксплуатации аналогичного электрофильтра в аналогичных условиях Тогда, исходя из фактической степени улавливания частиц в электрофильтре-аналоге, определяют условное среднее значение скорости дрейфа для данных условий — эффективную скорость дрейфа Так как при рассмотренном подходе величина скорости ω в неявной форме включает в себя зависимости от многих факторов, то надо тщательно подходить к выбору электрофильтра-аналога Недоучет некоторых, на первый взгляд малозначительных, факторов может повлечь за собой серьезные ошибки в определении эффективности электрофильтра

К характеристикам, которые должны лечь в основу при сравнении проектируемого электрофильтра с аналогом, следует отнести параметры пылегазового потока (температура, давление, состав газа, концентрация, дисперсность и свойства улавливаемых частиц), электрический режим аппарата, скорость газа в активном сечении, режим встряхивания электродов, конструкцию электродов

Из практики работы электрофильтров, в частности, известно, что эффективная скорость дрейфа, определенная по формуле Дейча на основании промышленных испытаний, уменьшается при снижении скорости газа в активном сечении и соответственном повышении эффективности Этот казалось бы парадоксальный факт объясняется тем, что электрофильтры, работающие с большей эффективностью, улавливают большее количество трудноулавливаемых частиц, чем электрофильтры, менее эффективные В то же время эффективную скорость дрейфа можно рассматривать как характеристику определяющую степень улавливаемости частиц, причем чем труднее осуществить улавливание, тем ниже эффективная скорость дрейфа

Для многих технологических процессов, особенно вновь проектируемых, подобрать соответствующие аналоги невозможно, в связи с чем определить эффективность электрофильтра расчетным путем можно лишь приблизительно

Следует отметить, что делаются попытки дать уточненное выражение для расчета эффективности электрофильтра как на основе формулы Дейча, так и с более полным учетом влияния действующих факторов

Для возможности учета изменения эффективной скорости дрейфа при изменении скорости газа в активном сечении, а также введения поправки на другие факторы, не учитываемые формулой Дейча, на основании анализа практических данных предложена [6 12] модификация этой формулы для условий улавливания золы из дымовых газов котельных агрегатов

$$\eta = 1 - e^{-(\omega f)^{0,5}}. \qquad (6.7)$$

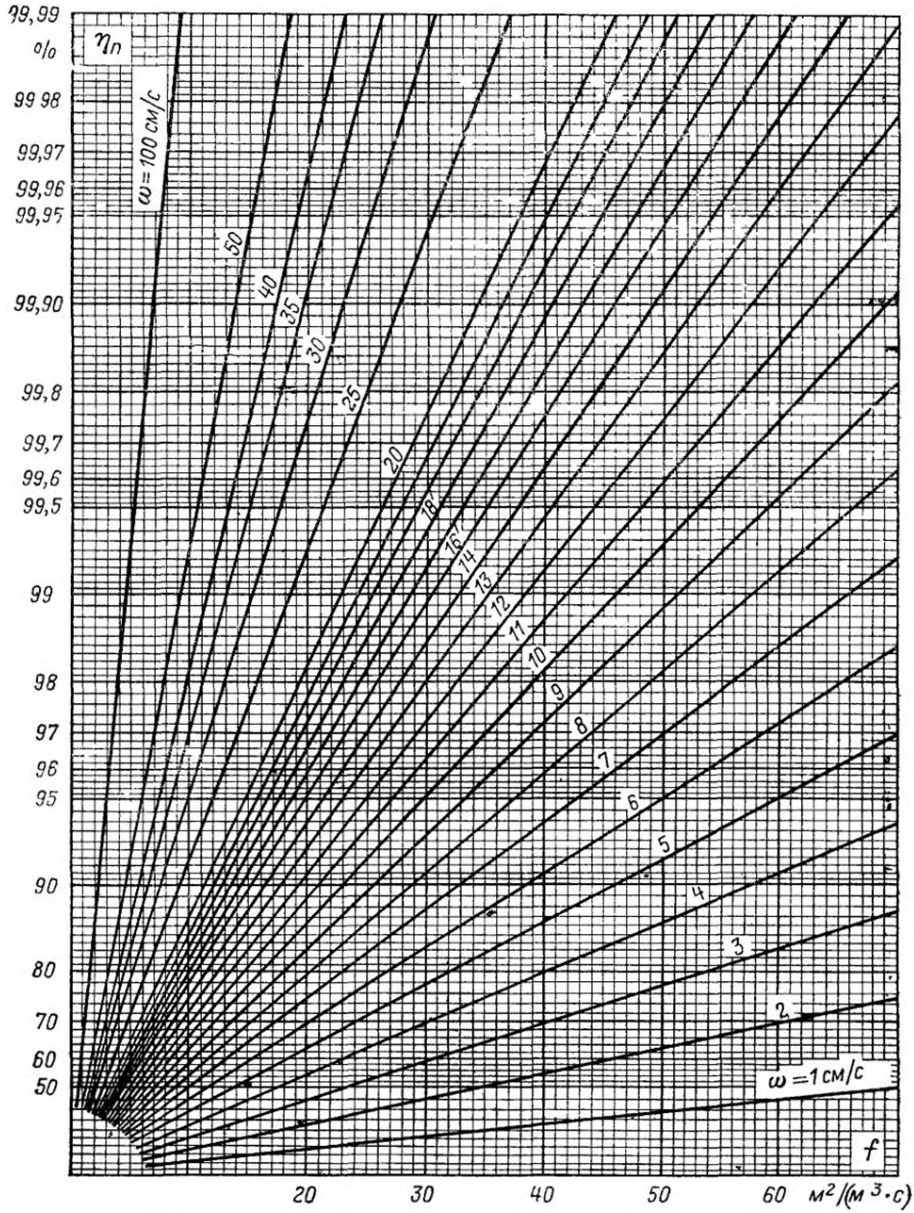


Рис 6 26 Номограмма для проведения расчетов по формуле $\eta_п = 1 - e^{-\omega f}$

Другая модификация формулы Дейча, отражающая зависимость эффективной скорости дрейфа от скорости газа, предложена в [6 5]

На основании исследований, проведенных НИИОГаз (Семибратовский филиал), разработана методика расчета степени очистки газа в пластинчатых электрофильтрах применительно к установкам очистки газов в теплоэнергетике [6 14]

Методика, сохраняя для расчета парциальной степени очистки экспоненциальную зависимость от скорости газа, дает возможность учитывать влияние многих факторов, участвующих в процессе электрического пылеулавливания, в том числе проскока частиц через неактивные зоны электрофильтра, уноса частиц при встряхивании, неоднородности поля концентраций пылегазового потока, неравномерности га-

зораспределения, а также влияние размеров электрического поля и др.

Расчет производят, исходя из зависимостей, связывающих геометрические размеры электрофильтра, среднюю скорость газа и скорость дрейфа у осадительного электрода. Расчеты на основании описанной методики являются достаточно сложными и реализуются поэтому с помощью ЭВМ.

Имеется также упрощенный вариант [6.14] зависимости для расчета общей эффективности электрофильтра, выведенный на основании этой методики:

$$\eta = 1 - \exp\left(-K_{\text{ун}} A \beta^{0,42}\right), \qquad (6.8)$$

где $K_{\text{ун}}$ — обобщенный коэффициент вторичного уноса; A и β — безразмерные параметры.

Параметр β, аналогичный по структуре показателю экспоненты в формуле Дейча, вычисляется по формуле

$$\beta = \frac{\varepsilon_0 E^2 d_{50} L}{w k_w \mu H}, \qquad (6.9)$$

где ε_0 — диэлектрическая постоянная, $К^2/(Н \cdot м^2)$; E — напряженность поля у осадительного электрода, В/м; d_{50} — медианный диаметр частиц, м; L — активная длина электрофильтра, м; w — средняя скорость газа в активном сечении, м/с; k_w — коэффициент неравномерности газораспределения; μ — динамическая вязкость газа, $Н \cdot с/м^2$; H — расстояние между коронирующим и осадительным электродом, м.

Параметр A зависит от отношения площадей активной и неактивной зон электрофильтра F^*, среднего квадратичного отклонения размеров частиц σ и параметра k:

$$k = \frac{T}{d_{50}} \left(\frac{4{,}15 \cdot 10^{-7}}{p} + \frac{5{,}47 \cdot 10^{-4}}{E} \right), \qquad (6.10)$$

где T — температура газа, К; p — давление газа, мм рт. ст.

Значения параметра A определяются по графику рис. 6.27,*а* для $F^* = 0{,}91$ (электрофильтры типа УГ) или рис. 6.27,*б* для $F^* = 1$ (электрофильтры, в которых неактивные зоны отсутствуют или надежно перекрыты для прохода газа).

Для электрофильтров, в которых значения F^* отличаются от этих величин, эффективность может быть рассчитана по формуле

$$\eta = 1 - F^* \exp\left(-K_{\text{ун}} A \beta^{0,42}\right) - (1 - F^*) \exp\left(-\frac{K_{\text{ун}} A \beta^{0,42}}{4}\right), \qquad (6.11)$$

где значения параметра A принимаются из условия $F^* = 1$.

Обобщенный коэффициент вторичного уноса для пылей с удельным электрическим сопротивлением $5 \cdot 10^6 \leqslant \rho \leqslant 5 \cdot 10^9$ Ом·м определяется из выражения

$$K_{\text{ун}} = 1 - 0{,}275 k_1 k_2 k_3,$$

где коэффициент относительной высоты осадительных электродов

$$k_1 = \left(\frac{h}{h_0}\right)^{0,51}, \qquad (6.12)$$

коэффициент относительной скорости газа

$$k_2 = \left(\frac{w}{w_0}\right)^{0,25}, \qquad (6.13)$$

коэффициент относительной пылеемкости электродов

$$k_3 = \exp\left(-1{,}72 \frac{m}{m_0}\right). \qquad (6.14)$$

Коэффициенты k_1, k_2, k_3 определяются с учетом соответствующих базовых значений $h_0 = 8$ м; $w_0 = 1$ м/с; $m_0 = 1$ кг/м².

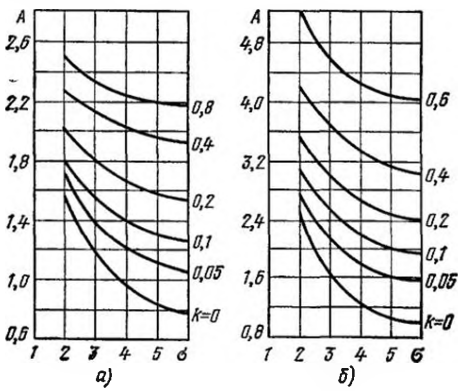


Рис. 6.27. Зависимость параметра A от k и σ:

а — для $F^* = 0{,}91$; *б* — для $F^* = 1$

Средняя погрешность расчета уноса пыли из электрофильтра $(1 - \eta)$ по приведенной методике не превышает 20% экспериментально измеренного уноса для пылей второй группы, т. е. при отсутствии обратной короны в электрофильтре (см. ниже).

Однако следует иметь в виду, что приведенные зависимости для расчета эффективности электрофильтров выведены на основании практических данных по работе действующих электрофильтров, имеющих определенную конструкцию и работающих в определенных конкретных условиях. В связи с этим их применение также ограничено и не может быть автоматически перенесено на электрофильтры других типов.

Факторы, влияющие на эффективность электрофильтра

Ниже приводятся некоторые данные, позволяющие оценить характер влияния основных факторов на эффективность работы электрофильтра.

1) Скорость газа в активном сечении является одним из определяю-

щих факторов работы электрофильтра (рис 6 28,*а*)

С точки зрения влияния на процесс осаждения частиц этот параметр взаимосвязан с другим — активной длиной электрофильтра, поскольку оба определяют время пребывания газопылевого потока в аппарате или, что по-существу то же самое, удельную поверхность осаждения электрофильтра

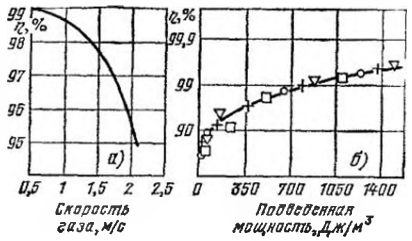


Рис 6 28 Характер зависимости степени улавливания электрофильтров от различных факторов:

а — от скорости газа *б* — от удельной мощности, подведенной к электродам электрофильтра

Из формулы Дейча (6 6) следует, что для обеспечения требуемой эффективности увеличение скорости газа может быть компенсировано соответствующим увеличением активной длины электрофильтра, т е должно быть обеспечено требуемое время пребывания газа в аппарате

В действительности при превышении определенного предела скорости любое увеличение длины электрофильтра не может предотвратить снижения его эффективности Это объясняется тем, что скорость газа является важнейшим фактором, влияющим на процессы вторичного уноса Увеличение скорости газа в сухом горизонтальном электрофильтре с 1,5 до 3 м/с приводит к возрастанию уноса пыли при встряхивании в 8—10 раз В то же время при скорости газа до 1 м/с унос пыли при встряхивании незначителен [6 16]

Поэтому максимальная скорость газа ограничивается определенными пределами в зависимости от конструкции электрофильтра Для сухих электрофильтров с плоскими осадительными электродами и вертикальных электрофильтров скорость газа принимается обычно в пределах до 0,8—1,0 м/с

В горизонтальных сухих электрофильтрах с профилированными электродами в зависимости от требуемой выходной запыленности и условий улавливания верхний предел скорости газа не превышает 1,5—1,7 м/с за исключением особо благоприятных условий

Поскольку увеличение скорости газа в электрофильтре сильно снижает его эффективность, важнейшим условием нормальной работы электрофильтра является равномерное распределение очищаемого газа по всему активному сечению аппарата. Местное увеличение скорости запыленного газового потока на 20—30% ее среднего значения, по которому рассчитан электрофильтр, вызовет резкое снижение эффективности а следовательно, и проскок неочищенного газа, который существенно снизит степень улавливания электрофильтра в целом Этот увеличенный проскок не будет компенсироваться увеличением эффективности в зонах пониженных скоростей газа ввиду экспоненциальной зависимости эффективности от скорости газа

2) Электрические параметры электрофильтра являются другим важнейшим фактором, определяющим его эффективность Эти параметры напряжение на электродах и сила тока короны — характеризуют интенсивность электрического поля В свою очередь частицы в электрическом поле получают заряд, а зарядившись, под воздействием сил поля обретают скорость дрейфа к электродам

Определяющим параметром с точки зрения дрейфа заряженных частиц в электрическом поле является напряженность поля Скорость дрейфа частиц пропорциональна квадрату напряженности электрического поля, которая зависит от отношения напряжения на электродах к межэлектродному промежутку Таким образом, наилучшие условия для осаждения частиц создаются при поддержании максимального напряжения на электродах Напряжение на электродах связано с механическими качествами электрофильтра — точностью центровки его электродов и качеством их поверхности, параметрами пылегазового потока, определяющими пробойное напряжение, а также качеством электротехнического оборудования, способного к автоматизированному поддержанию на электродах максимального напряжения, близкого к пробойному

Удельная мощность, подводимая к электрофильтру, также используется в качестве обобщенной характеристики, которая в конечном счете определяет интенсивность процессов, проходящих в активной зоне электрофильтра

Зависимость степени улавливания золы из дымовых газов от удельной мощности, подводимой к электрофильтру, дана на рис 6 28 *б*

3) Концентрация и дисперсность частиц, подлежащих улавливанию, также оказывает влияние на эффективность электрофильтров Здесь следует прежде всего отметить влияние этих параметров на зарядку частиц

При больших входных концентрациях частиц их объемный заряд оказывает существенное влияние на характеристики коронного разряда, и при определенных условиях происходит затухание тока коронного

разряда, т. е. возникает явление, называемое запиранием короны. Решающую роль в данном случае играет счетная концентрация частиц — их количество в единице объема. Поэтому в случае очень мелких частиц запирание короны может происходить даже при сравнительно небольших весовых концентрациях, и наоборот, в случае крупных частиц электрофильтр может справляться с относительно большой их входной концентрацией.

Результатом запирания короны является недозарядка частиц и соответствующее снижение эффективности электрофильтра.

Расчет электрофильтра, работающего в условиях высоких входных концентраций частиц, вызывающих запирание короны, производится путем определения дополнительного участка электрофильтра, компенсирующего ту его часть, которая фактически исключается из нормального процесса из-за запирания короны. Вместо расчетного увеличения активной длины электрофильтра может быть соответственно снижена скорость газа в электрофильтре, чтобы обеспечить увеличенное время пребывания газа в аппарате.

Условия, при которых следует учитывать влияние входной концентрации частиц на эффективность электрофильтра, определяются сравнением параметров дисперсной фазы: обобщенного параметра дисперсной фазы на входе $D_{вх}$ и запирающего параметра дисперсной фазы $D_{зап}$. Учет влияния дисперсной фазы необходимо производить при $D_{вх}/D_{зап} \geqslant 3$ [6.14].

Для летучей золы теплоэлектростанций условия запирания короны практически соответствуют входной запыленности 30—40 г/м³ при нормальных условиях.

Для предотвращения запирания короны перед электрофильтром и для уменьшения входной запыленности в электрофильтре устанавливается дополнительная механическая ступень очистки газа. Однако в такой предварительной ступени улавливаются, как правило, относительно крупные частицы и счетная концентрация частиц снижается недостаточно. Поэтому в большинстве случаев целесообразнее для компенсации снижения эффективности из-за запирания короны увеличивать размеры электрофильтра, чем устанавливать дополнительную ступень очистки газа.

Размеры улавливаемых частиц существенно влияют на скорость их дрейфа. Для частиц размером от 1 до 20 мкм скорость дрейфа прямо пропорциональна диаметру, и соответственно повышается эффективность улавливания. При дальнейшем увеличении размеров частиц скорость дрейфа замедляется, поэтому значительного повышения эффективности не наблюдается.

Что касается частиц крупностью менее 1 мкм, то для них преобладающее значение приобретают диффузионные процессы, в связи с чем наблюдается некоторое увеличение скорости дрейфа при уменьшении диаметра частиц. Установлено, что зависимость скорости дрейфа от размера частиц имеет минимум в диапазоне диаметров частиц 0,1—0,3 мкм [6.4].

4) Удельное электрическое сопротивление пыли является фактором, который существенно влияет на ход процесса электрической очистки газа в сухих электрофильтрах и может в некоторых случаях значительно искажать этот процесс, затрудняя или даже исключая возможность высокоэффективного пылеулавливания.

В связи с тем что процесс осаждения и удаления осажденных частиц с электродов в сухих электрофильтрах в значительной степени зависит от удельного электрического сопротивления осажденного слоя, принято делить пыли на три группы:

пыли первой группы с удельным электрическим сопротивлением слоя менее 10^2 Ом·м (низкоомные пыли);

пыли второй группы с удельным электрическим сопротивлением слоя 10^2—10^8 Ом·м;

пыли третьей группы с удельным электрическим сопротивлением слоя более 10^8 Ом·м (высокоомные пыли).

Нормальный процесс осаждения и удаления частиц с электродов характерен для пылей второй группы, которые обычно хорошо улавливаются в электрофильтрах. При осаждении на электроде эти пыли разряжаются не сразу, а через некоторое время, достаточное для накопления слоя и формирования из мелких осажденных частиц агломератов под действием электрических и аутогезионных сил.

Размер агломератов обычно таков, что основная часть пыли при встряхивании электродов попадает в бункер электрофильтра и только небольшое количество уносится газовым потоком, образуя вторичный унос.

Улавливание пылей первой группы связано с определенными сложностями, так как низкоомные пыли мгновенно разряжаются, попадая на электрод. Если при этом пыли не агломерируются за счет аутогезионных сил, то большая часть осажденной пыли вновь уносится газовым потоком. Примером такой пыли могут служить частицы недогоревшего топлива (недожог) в дымовых газах котельных агрегатов, плохо улавливаемые в электрофильтрах.

Однако наибольшие трудности возникают при улавливании в электрофильтрах высокоомной пыли. При этом могут происходить явления, существенно нарушающие процесс электрогазоочистки. На осадительном электроде образуется пористый изолирующий слой. При превышении некоторого критического значения напряженности электрического поля в слое происходит

электрический пробой пористого слоя, в результате которого образуется тонкий канал, заполненный положительными ионами. Канал выполняет роль острия, с которого развивается мощный обратный коронный разряд, действующий навстречу основному. Эффективность электрофильтра, работающего в условиях обратной короны, резко снижается.

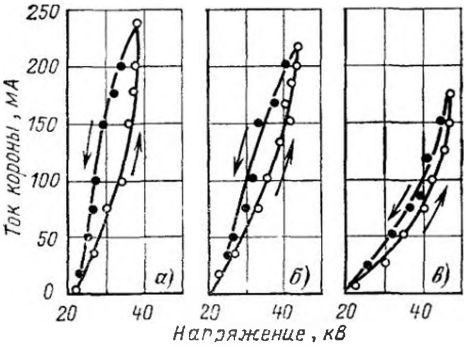


Рис. 6 29 Вольт-амперные характеристики электрофильтра, работающего с интенсивной обратной короной (*а*); со слабой обратной короной (*б*) и без обратной короны (*в*)

Снижение эффективности объясняется уменьшением электрического заряда частиц за счет их частичной перезарядки в зоне короны обратного знака, снижением пробивного напряжения, достигающим в отдельных случаях 50%; деформацией электрического поля в межэлектродном пространстве, вызывающей существенное уменьшение скорости дрейфа частиц

Возникновение обратной короны и ее интенсивность обусловливаются не только удельным электрическим сопротивлением слоя пыли, но также толщиной слоя пыли на электроде и удельной плотностью тока короны Поэтому даже при известном удельном электрическом сопротивлении пыли нельзя однозначно прогнозировать условия возникновения короны без учета влияния конструктивных элементов электродной системы и условий встряхивания электродов

Появление обратной короны в электрофильтре можно проследить по вольт-амперной характеристике сравнением восходящей ветви, измеренной при последовательном повышении напряжения до максимального, и нисходящей ветви, измеренной при снижении напряжения до полного затухания короны (метод И К Решидова). Несовпадение характеристик и образование петли указывает на наличие обратной короны, причем увеличение интенсивности обратного коронирования сопровождается расширением петли (рис 6 29).

Поскольку одним из факторов, способствующих возникновению обратной короны, является местное увеличение удельной плотности тока в межэлектродном пространстве, стремятся свести этот фактор к минимуму за счет применения электродных систем с характеристиками, обеспечивающими равномерное распределение удельных токов. Для электрофильтров типа УГ весьма полезным в этом смысле является установка ленточно-игольчатых коронирующих электродов с иглами вдоль газового потока [6.15].

5) Свойства газа, влияющие на электрические параметры системы, также в значительной степени оказывают воздействие на ход процесса. К числу таких свойств газа относятся его температура, влажность, плотность, химический состав, включая микросодержание некоторых примесей, положительно влияющих на процесс (например, SO_3).

Влияние температуры очищаемого газа и его влажности на эффективность улавливания в сухих электрофильтрах определяется связью этих параметров с пробивным напряжением и удельным электрическим сопротивлением слоя пыли.

Пробивное напряжение возрастает с увеличением плотности газа, поэтому при снижении температуры пробивное напряжение увеличивается, обеспечивая устойчивую работу электрофильтра при более высоком напряжении.

Водяные пары в газе в свою очередь увеличивают пробивное напряжение (рис. 6.30), обеспечивая тем самым лучшие условия улавливания.

Удельное электрическое сопротивление слоя пыли является одним из важнейших факторов, от которых зависит эффективность электрофильтра. Поэтому важно проследить влияние температуры и влажности газа на удельное сопротивление пыли, которое может быть проиллюстрировано рис 6 31.

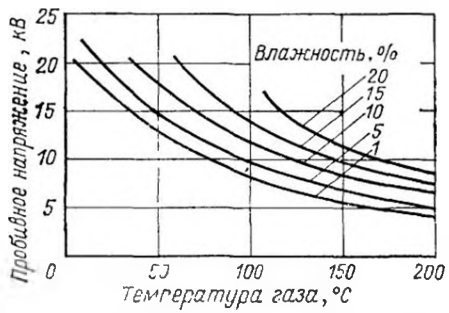


Рис. 6.30. Зависимость пробивного напряжения от температуры и влажности воздуха (для определенных геометрических параметров системы электродов)

Удельное электрическое сопротивление материала обычно понижается с ростом температуры, что справедливо также и для сухой пыли, улавливаемой в электрофильтре (кривая *А* на рис. 6.31).

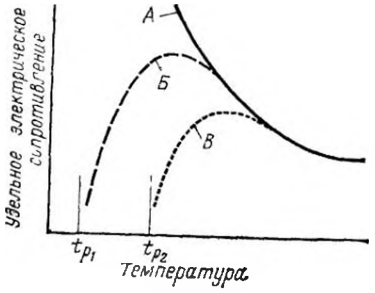


Рис. 6.31. Влияние температуры и точки росы газа на величину удельного сопротивления слоя пыли

Поэтому для того чтобы понизить удельное электрическое сопротивление пыли ниже уровня, соответствующего обратной короне, в некоторых случаях достаточно вести процесс электрической очистки при более высокой температуре.

Однако на удельное электрическое сопротивление слоя пыли влияет также способность частиц адсорбировать на своей поверхности присутствующие в газе компоненты, обладающие низким удельным сопротивлением, прежде всего воду и серный ангидрид. Адсорбция этих компонентов резко увеличивается, а удельное электрическое сопротивление падает, когда температура газа приближается к точке

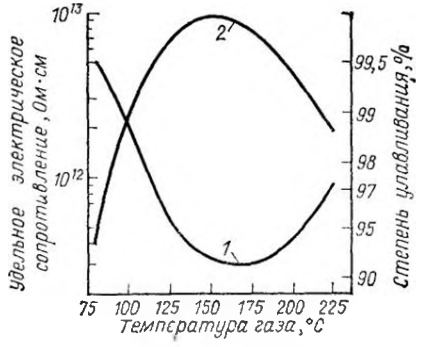


Рис. 6.32. Характер взаимозависимости между температурой газа, удельным электрическим сопротивлением пыли и степенью улавливания электрофильтра (очистка газов от высокоомной золы при сжигании одного из видов малосернистого топлива):
1 — степень улавливания; *2* — удельное электрическое сопротивление

росы, что характеризуется кривыми *Б* для точки росы t_{p_1} и *В* для точки росы t_{p_2}. Таким образом, характер зависимости удельного электрического сопротивления слоя описывается кривой с максимумом. Обычно этот максимум лежит в области температур 170—300 °С (рис. 6.32).

Удельное электрическое сопротивление можно уменьшить, снизив температуру газа. Если же это по каким-либо причинам невозможно, то можно приблизить точку росы к рабочей температуре увеличением в газах компонентов, повышающих эту точку, — водяных паров, серного ангидрида и др.

В ряде случаев для обеспечения требуемой степени очистки газа приходится специально кондиционировать газ, увеличивая его влажность или добавляя в небольших количествах серный ангидрид, если последний не связывается улавливаемым продуктом, или аммиак.

6) Процессы вторичного уноса также должны быть учтены при оценке эффективности электрофильтра [6.16]. Процессы связаны с тем, что однажды осажденные на электродах частицы вновь попадают в газовый поток. Наиболее существенно вторичный унос проявляется при встряхивании электродов, самообрушении слоя пыли, осажденного на электродах, а также при выбивании пыли из слоя оседающими частицами. Учитывая постоянно повышающиеся требования к очистке промышленных газов и соответственно высокую эффективность современных электрофильтров, следует иметь в виду, что процессы вторичного уноса в ряде случаев становятся факторами, определяющими эффективность сухого электрофильтра, поскольку однократное осаждение частиц в таких электрофильтрах осуществляется с большой степенью вероятности.

В результате исследований [6.16] показано, что срыва частиц из осажденного слоя при обдуве его незапыленным потоком при скорости до 3 м/с не происходит, однако, если на слой действует запыленный поток, происходит выбивание (эрозия) осажденных частиц из слоя крупными частицами, находящимися в потоке. Унос частиц при осаждении пропорционален кинетической энергии их движения $E_к$, Дж:

$$E_к = 0{,}26\ d^3 w^2 \rho, \qquad (6.15)$$

где d — медианный диаметр осаждаемой частицы, м; w — скорость частицы, м/с; ρ — плотность материала частицы, кг/м^3

Анализ данных показывает, что унос при осаждении значительно снижает эффективность очистки газов, если крупность основной массы частиц на входе превышает 20—30 мкм. Таким образом можно объяснить имеющие место в ряде случаев аномально низкие значения степени очист-

ки газов в электрофильтрах (или в их первых полях) при улавливании крупной пыли, которая должна улавливаться наиболее эффективно.

Существенное значение имеет унос пыли при падении осажденной пыли с электродов в бункер электрофильтра. Этот процесс происходит при встряхивании электродов, а также при самообрушении пыли с осадительных электродов в случае накопления слоя большой толщины.

Пыль от электродов отрывается в виде достаточно крупных агрегатов. Однако при отрыве от электрода после удара (при встряхивании) и в результате столкновений агрегатов между собой и с электродами при падении в бункер происходит дезагрегирование части пыли, а после падения в бункер образуется вторичное пылевое облако, чем и объясняется захват дезагрегированных частиц газовым потоком.

Решающее влияние на унос при прочих равных условиях оказывает пылеемкость осадительного электрода — масса пыли на единице его поверхности перед встряхиванием.

Увеличение пылеемкости электрода значительно снижает вторичный унос при встряхивании. Однако при превышении некоторого значения пылеемкости наблюдается самообрушение слоя осажденной пыли, что приводит к возрастанию уноса. Таким образом, при определенной величине пылеемкости электрода суммарный унос при встряхивании и самообрушении является минимальным. Вместе с тем следует учитывать, что накопление слоя на электродах ухудшает электрический режим электрофильтра, особенно при улавливании высокоомной пыли. Поэтому оптимальная пылеемкость электрода m_o должна выбираться с учетом того, чтобы ухудшение улавливания за счет ухудшения электрического режима компенсировалось снижением уноса пыли при встряхивании

Расчет оптимального интервала встряхивания, т. е. паузы между ударами по одному и тому же осадительному электроду. мин, может быть проведен по следующей зависимости:

$$\tau = 16{,}7\,\frac{S_п m_o}{V z_{вх} \eta}, \qquad (6.16)$$

где $S_п$ — площадь осаждения поля, м²; V — количество газов, поступающих в поле, м³/с; $z_{вх}$ — запыленность на входе в поле, г/м³; η — степень очистки газов полем электрофильтра

Значения оптимальной пылеемкости m_o, кг/м², в зависимости от удельного электрического сопротивления пыли, принимаемое при расчетах электрофильтров для установок газоочистки в теплоэнергетике, приводится на рис. 6.33.

Таблица 6.7. **Расчетное соотношение интервалов встряхивания осадительных электродов электрофильтров**

Номер поля	Степень очистки газов электрофильтром					
	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
Двухпольные электрофильтры						
1	1	1	1	1	1	1
2	2,2	3,2	4,5	7,1	10,1	31,6
Трехпольные электрофильтры						
1	1	1	1	1	1	1
2	1,7	2,1	2,7	3,7	4,6	10,0
3	2,9	4,6	7,4	13,6	21,5	100,0
Четырехпольные электрофильтры						
1	1	1	1	1	1	1
2	1,5	1,8	2,1	2,7	3,2	5,6
3	2,2	3,2	4,5	7,1	10,0	31,6
4	3,3	5,6	9,6	18,8	31,6	178,0

Соотношение между длительностью интервала встряхивания в первом и последующих полях дано в табл. 6.7.

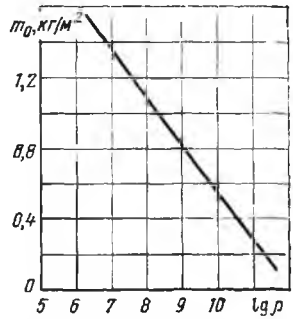


Рис. 6.33. Зависимость оптимальной пылеемкости осадительного электрода ρ от удельного электрического сопротивления слоя осажденной пыли

Оптимизация встряхивания электродов повышает эффективность электрофильтров. Применение оптимального периодического встряхивания вместо непрерывного позволило в ряде случаев снизить выбросы в 2—3 раза.

При реализации периодического встряхивания следует иметь в виду увеличение нагрузки на систему пылезолоудаления, поскольку одноразовый сброс пыли в бункере значительно увеличивается и устройства для выгрузки пыли из бункеров электрофильтров могут не справиться с увеличенным объемом пыли. В частности, такая опасность существует при переводе на периодическое встряхивание больших золоулавливающих электрофильтров

на теплоэлектростанциях, оборудованных системами гидрозолоудаления. Поэтому при периодическом встряхивании необходима проверка пропускной способности золоудаляющей системы

7) Конструктивные параметры электрофильтров могут в значительной мере влиять на эффективность процесса улавливания. Это в первую очередь относится к конструкции электродной системы, конфигурация и размеры которой должны обеспечивать оптимальные условия электрического режима электрофильтра

Большое значение для эффективной работы электрофильтра имеет правильный выбор количества его полей и величина поверхности осаждения, приходящаяся на один агрегат электропитания

С увеличением количества полей при сохранении их суммарной активной длины очистка газов в электрофильтре улучшается из-за возможности создания наилучшего электрического режима в каждом поле, а также из-за возможности дифференциации встряхивания по полям на основе оптимального встряхивания каждого поля. Также положительно влияет на улучшение работы электрофильтра уменьшение поверхности осаждения, приходящейся на агрегат питания, поскольку при этом удается снизить вероятность расцентровки системы, подключенной на один агрегат, и оптимизировать электрический режим Однако разукрупнение как полей, так и агрегатов значительно удорожает установки газоочистки, и поэтому при проектировании необходим технико-экономический анализ всех факторов для выбора оптимального варианта

Важным конструктивным параметром, влияющим на степень очистки, является высота электродной системы

В последнее время в связи с необходимостью увеличения единичной производительности электрофильтров, а также ограничения площадей для установки таких электрофильтров появилась тенденция к увеличению высоты электродных систем Эта тенденция особенно сильно проявилась в оснащении установок золоулавливания новых мощных энергоблоков, где в настоящее время исключительное применение нашли электрофильтры с электродами высотой 12 м

Электрофильтры типа УГ 3-го габарита обладают более низкими удельной металлоемкостью и стоимостью, отнесенными к 1 м^2 поверхности осаждения, если их сравнивать с аппаратами, у которых высота электродной системы составляет 7,5 м (электрофильтры типа УГ 2-го габарита) и которые занимают при этом значительно большую площадь Однако увеличение высоты электродов приводит к увеличению вторичного уноса при встряхивании в связи с увеличением высоты падения пыли Кроме того, увеличение высоты электродов, как правило, связано с укрупнением полей, приходящихся на агрегат электропитания, а также ухудшением центровки из-за затруднения монтажа высоких электродных систем

На основании анализа эксплуатационных показателей этих электрофильтров высказывается мнение [6 18], что для создания равноценных условий улавливания в электрофильтрах с электродами высотой 12 м по сравнению с электрофильтрами с электродами 7—8 м необходимо увеличение активной длины высоких электрофильтров в 1,2—1,4 раза

8) Показатели надежности также влияют на эффективность электрофильтра Поскольку в результате отказов отдельных элементов механической и электрической частей электрофильтров происходят соответствующие изменения процесса, то со временем эксплуатационная эффективность электрофильтра снижается по сравнению с первоначальной Решающую роль при этом играет ухудшение центровки электродных систем, которое происходит обычно из-за коробления под влиянием температурных факторов, деформации от воздействия встряхивающих механизмов Ухудшение эксплуатационных качеств электрофильтра иногда усугубляется плохим качеством его монтажа Так, в случае некачественной первоначальной центровки в электродной системе могут возникнуть значительные электродинамические силы, приводящие к раскачке системы коронирующих электродов и резкому ухудшению электрического режима работы аппарата Этот дефект характерен для электрофильтров с грузовым натяжением свободно подвешенных электродов, как сухих, так и мокрых

Ухудшение работы электрофильтра может быть вызвано также ухудшением работы встряхивающих механизмов, в результате чего может происходить постепенное накопление пыли на электродах

Применение коронирующих электродов с фиксированными разрядными точками, как показала практика последних лет, может вызвать постепенное снижение эффективности электрофильтра за счет снижения первоначально высоких электрических параметров из-за притупления коронирующих кромок (острий игл) Такое притупление может быть вызвано коррозионными процессами, очень интенсивно протекающими в зоне короны, а также технологическими дефектами изготовления игольчатых электродов

Существенное влияние на снижение эффективности электрофильтров может оказать ненадежная работа автоматизированной системы поддержания максимального уровня напряжения на электродах.

Естественно, что такие существенные отказы, как обрывы коронирующих электродов, выход из строя встряхивающих механизмов и пылеудаляющих систем, разрушение изоляторов, которые выводят из строя целые поля электрофильтров или даже несколько полей сразу, резко снижают эффективность электрофильтров

Выбор электрофильтров

Выбор типа электрофильтра определяется требуемой степенью улавливания частиц, концентрацией и свойствами этих частиц, параметрами и объемом очищаемого газа, а также условиями установки электрофильтра

Мокрые электрофильтры для очистки газа от пыли обеспечивают обычно более высокую степень улавливания, чем сухие, из за отсутствия в них вторичного уноса осажденных частиц и наличия в активной зоне ряда благоприятных условий, способствующих стабильному протеканию процесса электрогазоочистки

В мокрых электрофильтрах при соответствующих условиях может быть обеспечена стабильная очистка до выходных концентраций частиц в очищенном газе ниже 5—10 мг/м^3, что удовлетворяет самым жестким требованиям технологического использования газа, например в турбинах или компрессорных установках Мокрые электрофильтры используются также в том случае, если в соответствии с поставленными условиями очищаемый газ должен быть охлажден до температуры соответствующей точке росы

Однако мокрым электрофильтрам присущи все недостатки мокрых способов пылеулавливания, а именно: необходимость обработки образующихся шламов, наличие стоков, загрязняющих водоемы, возможность коррозии при наличии агрессивных составляющих в газе и т д Поэтому в тех случаях, когда это возможно, предпочтительно использование для пылеулавливания сухих электрофильтров Следует, однако, иметь в виду, что стабильная очистка газа в этих аппаратах до выходных концентраций ниже 50 мг/м^3 в большинстве случаев сильно осложнена и может быть достигнута только путем значительного увеличения объема аппарата

При использовании сухих электрофильтров предпочтение следует отдавать горизонтальным аппаратам, в которых может быть достигнута значительно более высокая эффективность улавливания, чем в вертикальных Вертикальные электрофильтры для очистки дымовых газов обычно применяются в случае невозможности размещения горизонтальных из-за отсутствия места При этом следует учитывать, что однопольные вертикальные электрофильтры могут работать с относительно невысокой степенью улавливания или в облегченных условиях (низкие входные концентрации пыли, отсутствие в ее составе особо мелких частиц благоприятные условия для осуществления процесса электрогазоочистки) В ряде специальных случаев используются двухпольные трубчатые электрофильтры с низкими скоростями газа в активном сечении

6.5. АГРЕГАТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

Неотъемлемой частью установок электрической очистки газов являются агрегаты питания снабжающие электрофильтры выпрямленным током высокого напряжения (60—80 кВ)

Агрегат питания состоит из регулятора напряжения повысительного трансформатора и выпрямителя (рис 6 34)

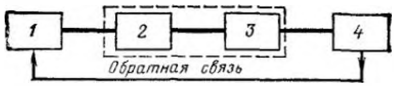


Рис 6 34 Блок схема агрегата питания электрофильтра

1 — регулятор, *2* — повысительный трансформатор *3* — выпрямитель *4* — электрофильтр

Так как эффективность электрофильтра тем выше, чем ближе рабочее напряжение к пробивному, то для обеспечения оптимального режима аппарата питание необходимо регулировать напряжением на электродах, поддерживая его на максимально высоком уровне Пробивное напряжение в электрофильтре зависящее от многих факторов (количества очищаемых газов, их температуры, плотности и влажности, концентрации частиц в газах, наличия слоя пыли на электродах и др), обычно колеблется в значительных пределах, особенно в сухих электрофильтрах. Поэтому скорость и способ регулирования напряжения или тока и степень автоматизации этого процесса имеют первостепенное значение

При изменении указанных выше параметров, когда рабочее напряжение достигает значения пробивного, в электрофильтре возникают искровые разряды, переходящие при определенных условиях в электрическую дугу Искровые разряды в электрофильтре неизбежны и из за кратковременности действия (около 10^{-3} с) не представляют опасности для системы агрегат — электрофильтр, если исключить возможность перехода искрового разряда в затяжную дугу короткого замыкания

Дуговые разряды длятся 0 1—5 с и сопровождаются значительным увеличением тока нагрузки и резким снижением напряжения, а по своему механическому воз-

действию могут вызвать разрушения (прожоги) электродов и сильную раскачку свободноподвешенных коронирующих электродов.

Развитию дугового разряда способствует ряд факторов, в числе которых электрическая емкость электрофильтра и энергия питающей сети, поэтому возможность возникновения дугового разряда возрастает с увеличением размеров электрических полей электрофильтра и мощности агрегатов, их питающих.

В агрегатах старых конструкций регулирование напряжения осуществлялось вручную, что не позволило поддерживать напряжение на электродах достаточно близким к пробивному.

В агрегатах питания, выпускаемых в настоящее время, процесс регулирования напряжения автоматизирован.

Разработано несколько способов регулирования, среди которых системы регулирования по заданному току и напряжению, по дуговому пробою в фильтре, по заданному числу искровых разрядов в электрофильтре по максимальной мощности коронного разряда, по максимальному среднему напряжению.

Регулирование выходного тока и напряжения агрегата происходит за счет воздействия управляющего сигнала на главный регулятор, в качестве которого в агрегатах питания последних моделей используют магнитные усилители и тиристоры (управляемые кремниевые диоды).

Повысительный трансформатор является одним из ответственных узлов агрегата питания. Условия работы электрофильтра выдвигают особые требования к конструкции трансформатора, в частности изоляция трансформатора должна выдерживать электродинамические перегрузки, возникающие при пробоях в электрофильтре.

В качестве выпрямителей в агрегатах питания электрофильтров длительное время использовались механические выпрямители с вращающейся крестовиной. Агрегаты питания в последнее время оснащаются полупроводниковыми выпрямителями (селеновыми или кремниевыми), преимущества которых очевидны.

Промышленностью выпущено несколько моделей агрегатов питания с автоматическим регулированием напряжения и полупроводниковыми выпрямителями, наибольшее применение из которых нашли агрегаты типа АРС и АУФ, а впоследствии АТФ.

В агрегатах типа АРС регулирование осуществлялось по дуговому пробою с помощью магнитного усилителя и использовался селеновый выпрямитель Более совершенные по конструкции агрегаты типа АУФ снабжены универсальной системой регулирования, включающей в себя три независимых принципа регулирования: экстремальный, искровой и периодический, в них применен кремниевый выпрямитель. Экстремальное регулирование позволяет поддерживать на электродах максимальное значение среднего напряжения, при искровом регулируется частота искровых разрядов в интервале 80—500 искр в минуту. При периодическом принципе регулирование осуществляется по дуговому пробою и напряжение в электрофильтре поддерживается в предпробойной зоне Однако использование в агрегате типа АУФ в качестве регулятора магнитного усилителя, обладающего относительно большой инерцией (свыше 0,1 с), не обеспечивает быстрого гашения дуговых разрядов, что приводит к снижению эффективности электрофильтра, а в ряде случаев к прожогам электродов, особенно при большой мощности агрегата

В агрегатах типа АТФ впервые применены тиристорные регуляторы, основным преимуществом которых по сравнению с магнитным усилителем является практически безынерционное действие, что очень важно для гашения дуговых разрядов в электрофильтре

В настоящее время агрегаты типа АТФ модернизированы и на их основе начат серийный выпуск агрегатов новой модификации типа АТПОМ Основные характеристики агрегатов питания типа АТФ и АТПОМ приведены в табл. 6 8

Все ранее выпускавшиеся отечественные агрегаты питания должны устанавливаться в помещении, поэтому в установках электрофильтров всегда предусматривалась преобразовательная подстанция, в которой кроме агрегатов питания размещались силовые распределительные щиты и сборки, станции управления механизмами электрофильтра и щиты сигнализации. Преобразовательная подстанция для электрофильтров относится к разряду закрытых распределительных устройств и подстанций выпрямленного тока с напряжением выше 1000 В.

Для передачи электрической энергии от агрегатов питания к электрофильтрам используется специальный одножильный силовой кабель марки АСБГЭ, концы которого заделываются в фарфоровые концевые кабельные муфты.

Для защиты системы агрегат — кабель от высокочастотных перенапряжений между кабелем и электрофильтром последовательно включается защитное сопротивление типа ЗСК, которое обычно размещается в изоляторной коробке электрофильтра.

В агрегатах питания типа АТФ силовая часть (трансформатор и выпрямитель) выполнена так, что она может быть установлена под укрытием, вне помещения. Это значительно упрощает подвод тока высокого напряжения к электрофильтрам

Таблица 6.8. Технические характеристики агрегатов электрического питания электрофильтров типа АТФ и АТПОМ

Наименование	Марка агрегата питания				
	АТФ 250 АТПОМ 250	АТФ 400, АТПОМ 400	АТФ 600 АТПОМ 600	АТФ-1000, АТПОМ-1000	АТФ 1600; АТПОМ 1600
Номинальное напряжение сети, В	380 400 415	380 400 415	380 400 415	380 400 415	380 400 415
Номинальная частота, Гц	50; 60	50; 60	50; 60	50; 60	50; 60
Номинальный выпрямленный ток нагрузки (среднее значение), мА	250±25	400±40	600±60	1000±100	1600±160
Номинальное выпрямленное напряжение, кВ:					
среднее значение	50±3	50±3	50±3	50±3	50±3
амплитудное значение	80±8	80±8	80±8	80±8	80±8
Мощность, потребляемая из сети, кВ·А, не более	26	40	60	100	160
Коэффициент полезного действия, не менее	0,85	0,85	0,85	0,90	0,90
Коэффициент мощности не менее	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

и удешевляет установки электрофильтров, так как позволяет устанавливать силовую часть агрегата в непосредственной близости от токоподводов электрофильтра (например, на крышке аппарата) и обходиться без высоковольтного кабеля. Кроме того, снижаются расходы по строительству и содержанию подстанции в связи с тем, что в ней размещаются только низковольтное электрооборудование и щиты управления.

В агрегатах типа АТПОМ для силовой части, устанавливаемой вне помещения, укрытия не требуется, что еще более упрощает установку этого оборудования.

При выборе агрегата питания руководствуются следующими соображениями.

Номинальный ток агрегата должен обеспечивать работу электрофильтра на всех режимах. Необходимая мощность определяется по току, который необходим для создания максимальных значений удельного тока короны:

$$I = i_L L \cdot 1000, \qquad (6.17)$$

где I — номинальный ток агрегата, А; L — активная длина коронирующих электродов, питающихся от одного агрегата, м; i_L — удельный ток короны на единицу длины коронирующих электродов, мА/м.

Значения удельных токов короны для определенных условий работы электрофильтра определяются на основании данных, получаемых при снятии показателей на промышленном электрофильтре, или по результатам испытаний опытных электрофильтров.

Удельный ток короны для обычных промышленных электрофильтров составляет 0,08—0,1 мА/м для гладких коронирующих электродов

Для игольчатых коронирующих электродов понятие удельного тока короны является условным, так как коронный разряд происходит в отдельных точках, число которых определяется шагом между иглами. Поэтому в настоящее время чаще удельный ток относят к единице поверхности осадительных электродов (мА/м²). В этом случае мощность агрегата определяют по соотношению

$$I = i_S S \cdot 1000, \qquad (6.18)$$

где S — поверхность осаждения осадительных электродов, приходящаяся на один агрегат, м², i_S — удельный ток, мА/м².

Для электрофильтров типа УГ, применяемых в установках золоулавливания теплоэлектростанций, удельные токи принимаются в пределах 0,2—0,35 мА/м² при сжигании каменного угля и 0,3—0,5 мА/м² при сжигании бурого угля

При выборе количества агрегатов питания предпочтительным вариантом является схема питания агрегат — поле, т. е на каждое электрическое поле устанавливается самостоятельный агрегат.

Если подключить несколько электрических полей параллельно одному агрегату, то электрический режим будет соответствовать режиму поля с худшими условиями по центровке электродов, их режиму отряхивания и параметрам пылегазового потока Поэтому питание по схеме агрегат — несколько полей принимают только для не-

больших электрофильтров (полей), когда есть возможность создать идентичные условия для параллельно подключенных к агрегату полей

6 6. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Нормальная работа электрофильтров возможна лишь при соблюдении предусмотренных при проектировании и уточненных при наладке параметров пылегазового потока и режимов очистки электродов Современная установка электрической очистки газов включает комплекс аппаратов и механизмов, четкое взаимодействие которых может быть обеспечено высококачественным монтажом и наладкой

Оборудование электрофильтров поступает на монтажную площадку отдельными узлами и блоками, поэтому именно от качества монтажа зависят его основные эксплуатационные показатели Для оценки качества центровки электродов еще до подачи в электрофильтр подлежащих очистке газов снимается вольт амперная характеристика на воздухе, которая в дальнейшем служит для контроля состояния электрофильтра при остановках аппарата в процессе эксплуатации и после ремонтов

При монтаже и в процессе приемки электрофильтра из монтажа особое внимание следует обратить также на правильную работу механизмов встряхивания в сухих электрофильтрах и систем промывки электродов в мокрых, исправность изоляторных узлов, герметичность корпусов электрофильтров, а также на тщательный и квалифицированный монтаж и регулировку систем электропитания

Подробно перечень технических требований, которые следует соблюдать при производстве монтажных работ, и правила приемки и испытаний электрофильтров регламентируются СНиП III-Г 10 12 66 «Оборудование очистки газов Правила производства и приемки монтажных работ», а также сопроводительной документацией оборудования электрофильтров (инструкциями по монтажу и эксплуатации, паспортами и т д)

Как правило, пуску электрофильтров предшествуют наладочные работы, в процессе которых окончательно отрабатываются и корректируются проектные режимные параметры, а также устанавливаются режимы встряхивания или промывки электродов с учетом конкретных условий работы установки

Во время промышленной эксплуатации необходимо контролировать и соблюдать установленный при наладке режим работы электрофильтра по всем показателям с занесением основных показателей в журнал установленной формы, который должен вестись на всех без исключения установках электрофильтров Регистрация основных технологических параметров работы электрофильтров позволяет проводить анализ нарушений, возникающих в процессе их эксплуатации, и устанавливать причины этих нарушений

Контроль за работой внешних узлов электрофильтров (приводов механизмов встряхивания, изоляторов, систем электропитания и т д) должен проводиться систематически в соответствии с графиками планово-предупредительных осмотров и ремонтов Для контроля за состоянием внутреннего оборудования электрофильтра необходимо использовать как плановые, так и внеплановые остановки технологических линий, в составе которых эксплуатируются электрофильтры

При контроле внутреннего оборудования следует проверять правильность центровки электродов, выявлять возможные механические повреждения узлов, и в первую очередь коронирующих электродов, следить за состоянием внутренних поверхностей электрофильтра и удалять возникшие в процессе эксплуатации отложения, проверять состояние внутренних частей изоляторных узлов и производить чистку внутренних поверхностей изоляторов от загрязнений при любой возможности

Значительное влияние на работу электрофильтров оказывает состояние систем пылеудаления и шламоудаления Переполнение бункера пылью из-за плохой работы пылеудаляющих устройств или их несвоевременного включения приводит к короткому замыканию в активной зоне и отключению электрофильтра Если пыль имеет способность слеживаться и схватываться, электрофильтр при этом надолго выходит из строя, так как для приведения в нормальное состояние его внутреннего оборудования требуется большой объем работ

Неприятные последствия вызывают подсосы атмосферного воздуха в камеру сухих электрофильтров, работающих под разрежением, через неплотности сварных швов корпуса, люков, в местах прохода валов механизмов встряхивания Подсосы могут снизить эфективность электрофильтра за счет увеличения объема газа, проходящего через электрофильтр, понижения точки росы газа, выноса уловленной пыли из бункера (если подсосы происходят в бункере)

В результате подсосов происходит местное охлаждение газов, что вызывает интенсивные коррозионные процессы и налипание пыли в зоне подсосов из за конденсации содержащихся в газе паров Поэтому в процессе эксплуатации нельзя допускать возникновения подсосов и незамедлительно устранять их при обнаружении

Важным условием надежной работы сухих электрофильтров, очищающих газы с температурой выше 100°С, является правильная теплоизоляция их корпусов, что, к сожалению, часто не учитывается на практике. Некачественная теплоизоляция стенок корпуса приводит к местному охлаждению стенок и как следствие— к коррозии их и налипанию пыли, также как в случае местных охлаждений в результате подсосов.

Кроме того, плохая теплоизоляция несущих элементов корпуса (рам, балок, ребер) вызывает большие температурные перепады в сечениях этих элементов, на которые они не рассчитаны, что ведет в конечном счете к возникновению остаточных деформаций и короблению корпусов, а в ряде случаев чревато разрушениями элементов корпуса. Особенно опасна эксплуатация с некачественной теплоизоляцией электрофильтров больших размеров (например, серии УГ2 и УГ3), а также высокотемпературных электрофильтров (серии УГТ).

Эксплуатация электрофильтров регламентируется «Правилами технической эксплуатации газоочистных и пылеулавливающих установок», разработанными Государственной инспекцией по контролю за работой газоочистных и пылеулавливающих установок и обязательными для всех министерств и ведомств.

Особенности техники безопасности при обслуживании установок электрической очистки газов определяются тем, что электрофильтры представляют собой достаточно сложные высоковольтные агрегаты с большим количеством точек обслуживания, которые устанавливаются в составе технологических линий. Этим установки электрофильтров отличаются от большинства других высоковольтных установок, которые размещаются обособленно, в специальных помещениях или на специальных площадках и обслуживаются специальным персоналом.

Поэтому при обслуживании установок электрической очистки газов необходимо вести тщательный контроль за соблюдением всех требований, обусловленных «Правилами устройства электроустановок» и «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», и производить обучение персонала в соответствии с действующими правилами и производственными инструкциями.

Внутренний осмотр и ремонт электрофильтров должен производиться только под непосредственным наблюдением или при участии лица, ответственного за эксплуатацию электрофильтра, и допускается только после снятия напряжения и заземления агрегатов питания и высоковольтного кабеля, питающего коронирующую систему.

Для предотвращения случайных соприкосновений персонала с частями электрофильтра, находящимися под напряжением, дверцы изоляторных коробок, как правило, оснащаются блокирующими заземляющими устройствами.

Вблизи всех люков предусматриваются заземляющие винты для присоединения переносных заземлений, без наложения которых на участки коронирующей системы доступ в электрофильтр не допускается.

РАЗДЕЛ СЕДЬМОЙ
ГАЗОВЫЕ ТРАКТЫ

7.1. КОНСТРУКЦИИ ГАЗОХОДОВ

Газоходы могут иметь круглое или прямоугольное поперечное сечение. Первые менее металлоемки и проще в изготовлении, поэтому газоходы прямоугольного сечения применяются только в тех случаях, когда это диктуется компоновочными соображениями, обычно при коротких участках между аппаратами с прямоугольным сечением присоединительных патрубков.

Для того чтобы газоходы не забивались осевшей золой или пылью и имели при этом умеренное гидравлическое сопротивление, скорость газов при выборе их сечения обычно принимают в пределах от 10 и 20 м/с, однако в некторых случаях избежать значительных отложений пыли удается лишь при скорости газов до 30 м/с.

Таблица 7.1. **Профиль ребер жесткости для газоходов круглого сечения при расстоянии между ними 1500 мм**

Наружный диаметр × толщина стенок, мм	Профиль, мм
1000×3	Полосовая сталь 60×6
2000×3	Уголок 60×60×5
2000×5	Полосовая сталь 60×6
2500×5	Уголок 60×60×5
3000×5	Уголок 60×60×5
3500×5	Уголок 75×75×6
4000×5	Уголок 75×75×6