

Расчета электрофильтров

При проектировании новых установок электрической очистки газов и при реконструкции устаревших электрофильтров требуется обеспечить требуемые санитарные нормы выбросов частиц из электрофильтра. Для этого необходимо определить параметры электрофильтра, т.е. его активное сечение, активную длину, высоту, тип электродов и целый ряд других величин.

Теория расчета процессов электрогазоочистки отстает от практических разработок. Одной из первых зависимостей для расчёта степени очистки газа электрофильтром, по-видимому, является степенная формула, предложенная Андерсеном в 1919 г.

$$\eta = 1 - K_3^{L/V_r}$$

где K_3 – постоянная электрофильтра; L – длина активной зоны электрофильтра; V_r – скорость газов в активной зоне электрофильтра.

Эта формула не нашла широкого применения, т.к. постоянная электрофильтра K_3 не могла отражать ни особенности конструкции, ни разнообразие технологических условий работы электрофильтра.

Теоретически формула для определения степени очистки газа электрофильтром была выведена Дейчем в 1922 г.

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{\omega L}{H_0 V_r}\right), (1)$$

где ω – скорость дрейфа частиц; L – длина активной зоны электрофильтра; H_0 – межэлектродное расстояние; V_r – скорость газов в электрофильтре

При выводе этой формулы были приняты следующие допущения:

1. Равномерный профиль концентрации пыли;
2. Отсутствие уноса пыли;
3. Постоянство скорости дрейфа по длине электрофильтра;
4. Частицы пыли монодисперсны;
5. Течение газа ламинарное
6. Скорость газового потока по сечению постоянна;

В 1956 г. это уравнение было уточнено Роузом и Вудом и может быть записано следующим образом:

$$\eta = 1 - \exp\left(-\omega \frac{S}{Q}\right), (2)$$

где S – площадь осаждения электрофильтра; Q – количество очищаемых газов.

Считается, что в электрофильтре происходит интенсивное турбулентное перемешивание газового потока в связи с высоким значением числа Re и в результате действия электрического ветра.

Скорость дрейфа заряженных частиц быстро достигает предельной величины. С учетом закона Стокса она может быть вычислена по формуле:

$$\omega = \frac{\rho \cdot d \cdot E^2}{36 \cdot 10^7 \pi \mu} \left(1 + \frac{J}{\lambda} d\right), \quad (3)$$

где $\rho = 3\epsilon/\epsilon + 2$; ϵ – диэлектрическая постоянная; d – диаметр частицы (при $d > 1$ мкм); μ – вязкость газа;

$$J = 1,746 + 0,562 \exp\left(-0,785 \frac{d}{\lambda}\right), \quad (4)$$

λ – средняя длина пути свободного пробега молекул.

С помощью уравнений (2), (3) и (4) можно рассчитать эффективность осаждения частиц разных диаметров. Стейерменд, сравнив рассчитанные и опытные результаты (Рис.1), пришел к выводу, что эти уравнения могут служить только для учета изменений в работе данной установки, но не могут быть основой для расчета новых конструкций.

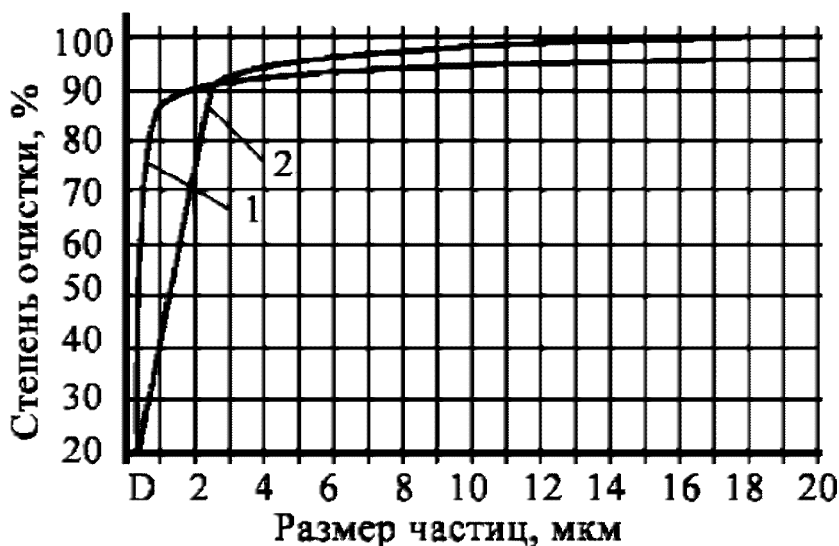


Рис. 1. Кривые фракционной эффективности электрофильтра.

1 – экспериментальная кривая; 2 – теоретическая кривая

Практический интерес представляет приближенный расчет электрофильтра, предложенный В.Н.Ужовым в его книге. Пример расчета выполнен для двухпольного электрофильтра сушильного барабана от пыли сырья при производстве цемента.

Исходные данные:

1. Состав газов, поступающих в электрофильтр (в объемн. %)

CO₂ - 13; H₂O - 8,5; O₂ - 6,5; N₂ - 72.

2. Температура газов..... t = 150° C

3. Разрежение в системе..... p_r = 2кН/м² (200 мм вод.ст)

4. Содержание пыли в газах z = 40г/м³ (н.у.)

5. Фракционный состав пыли:

средний радиус частиц, мкм	0,5	2,5	5,0	10	15	20	25
содержание, масс. %	5,0	10,0	10,0	15	20	20	20

6. Скорость газов в электрофилт্রে..... $V_r = 0,8$ м/с
7. Радиус коронирующего электрода $R = 1,25 \cdot 10^{-3}$ м
8. Расстояние между коронирующими электродами в ряду $d_k = 0,24$ м
9. Активная длина коронирующих электродов $L_k = 924$ м
10. Количество осадительных электродов..... $n = 16$
11. Площадь осадительных электродов..... $S = 242$ м²
12. Расстояние между плоскостями осадительных и коронирующих электродов $H = 0,150$ м
13. Длина активной зоны электрофилтра..... $L = 4,8$ м
14. Напряжение (среднее значение) $U_{cp} = 46$ кВ
15. Активная площадь сечения электрофилтра..... $S = 7,5$ м²

Расчет электрических параметров

Относительная плотность газов:

$$\beta = \frac{P \pm p_v}{1,013 \cdot 10^5} \cdot \frac{273 + t}{273 + t} = \frac{1,013 \cdot 10^5}{1,013 \cdot 10^5} \cdot \frac{273 + 20}{273 + 150} = 0,68$$

Критическая напряженность электрического поля (В/м):

$$E_0 = 3,04 \left(\beta + 0,0311 \sqrt{\frac{\beta}{R_1}} \right) 10^6 = 3,04 \left(0,68 + 0,0311 \sqrt{\frac{0,68}{1,25} \cdot 10^{-3}} \right) 10^6 = 4,26 \cdot 10^6$$

Критическое напряжение короны (В)

$$U_0 = E_0 R_1 \left(\frac{\pi H}{d} - \ln \frac{2\pi R_1}{d} \right) = 4,26 \cdot 10^6 \cdot 1,25^{-3} (1,96 + 3,43) = 33,5 \cdot 10^3$$

Линейная плотность тока короны (мА/м) будет:

$$i_0 = \frac{4\pi^2 k v}{9 \cdot 10^9 d^2 \left(\frac{\pi H}{d} - \ln \frac{2\pi R_1}{d} \right)} U(U - U_0)$$

При $H/d = 0,15/0,24 = 0,625$ величина $v = 7,7 \cdot 10^{-2}$

$$k = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В с})$$

Таким образом:

$$i_0 = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot 7,7 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^9 \cdot 0,24^2 (1,96 + 3,43)} 46 \cdot 10^3 (46 \cdot 10^3 - 33,5 \cdot 10^3) = 0,185 \text{ мА/м}$$

Напряженность электрического поля (В/м) составит:

$$E = \sqrt{\frac{8\epsilon_0 H}{4\pi\epsilon_0 kd}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 0,185 \cdot 10^{-3} \cdot 4\pi \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 0,15}{4\pi \cdot 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot 0,24}} = 1,99 \cdot 10^5$$

Принимаем, что $E_3 = E_{oc} = E$.

Скорость дрейфа частиц диаметром от 2 до 50 мкм определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{0,118 \cdot 10^{-10} \cdot E^2}{\mu} \cdot r$$

А для частиц диаметром от 0,1 до 2 мкм по формуле:

$$\varphi = \varphi + \left(1 + A \frac{\lambda}{r}\right)$$

где $A = 0,815 \dots 1,63$; S_m – средняя длина свободного пробега молекулы, м; для газов $\lambda = 10^{-7}$.

Вязкость газов (нс/м²)

$$\mu = \mu_0 \frac{273+C}{T+C} \left(\frac{T}{273}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{\frac{3}{2}} = 1,93$$

Вязкость газа определяется как сумма вязкостей:

$$\mu_{CO_2} = 0,137 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{273+254}{423+254} \cdot 1,93 = 0,22 \cdot 10^{-4}$$

$$\mu_{O_2} = 0,2 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{273+131}{423+131} \cdot 1,93 = 0,27 \cdot 10^{-4}$$

$$\mu_{H_2O} = 0,09 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{273+673}{423+673} \cdot 1,93 = 0,149 \cdot 10^{-4}$$

$$\mu_{N_2} = 0,17 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{273+114}{423+114} \cdot 1,93 = 0,231 \cdot 10^{-4}$$

Так как относительная молекулярная масса газов (в кг/кмоль)

$$M = \alpha_{CO_2} M_{CO_2} + \alpha_{O_2} M_{O_2} + \alpha_{H_2O} M_{H_2O} + \alpha_{N_2} M_{N_2} = 0,13 \cdot 44 + 0,065 \cdot 32 + 0,085 \cdot 18 + 0,72 \cdot 28 = 29,35$$

α – содержание компонента в долях единицы

$$\frac{M}{\mu} = \left(\frac{0,13 \cdot 44}{0,22} + \frac{0,065 \cdot 32}{0,27} + \frac{0,085 \cdot 18}{0,149} + \frac{0,72 \cdot 28}{0,231} \right) \cdot 10^4 = 130,9 \cdot 10^4$$

то вязкость газов (нс/м²):

$$\mu = \frac{29,35}{130,9 \cdot 10^4} = 0,225 \cdot 10^{-4}$$

Скорость дрейфа частиц диаметром от 2 до 50 мкм в электрическом поле (м/с):

$$\varphi = \frac{0,118 \cdot 10^{-10} \cdot (1,99 \cdot 10^5)^2}{0,225 \cdot 10^{-4}} \cdot r = 2,08 \cdot 10^4 \cdot r$$

Скорость дрейфа частиц диаметром от 0,1 до 2 мкм (при $A=1$)

$$\omega_{ж} = 2,08 \cdot 10^4 \cdot r \left(1 + \frac{10^{-7}}{r} \right)$$

Для разных размеров частиц скорость дрейфа составит:

$$\omega_1 = 1,25 \cdot 10^{-2}; \omega_2 = 5,2 \cdot 10^{-2}; \omega_3 = 10,4 \cdot 10^{-2}; \omega_4 = 20,8 \cdot 10^{-2}; \omega_5 = 31,2 \cdot 10^{-2}; \omega_6 = 41,6 \cdot 10^{-2}; \omega_7 = 52 \cdot 10^{-2}$$

Расчет степени очистки газов

Степень очистки газов в соответствии с формулой $\eta = 1 - \exp^{-\omega f}$ рассчитана по фракциям, причем

$$f = \frac{S}{vF} = \frac{242}{0,8 \cdot 7,5} = 40,5$$

удельная поверхность осаждения . Действительные скорости дрейфа частиц в электрическом поле электрофильтра, как в то время было установлено на практике (что было близко к действительности для существовавших в шестидесятых годах условий) примерно в два раза меньше теоретически рассчитанных, поэтому при подсчете показателя степени в формуле Дейча для частиц любого размера полученные значения скоростей дрейфа уменьшаются в два раза:

$\omega_1 f/2$	$\omega_2 f/2$	$\omega_3 f/2$	$\omega_4 f/2$	$\omega_5 f/2$	$\omega_6 f/2$	$\omega_7 f/2$
0,253	1,055	2,1	4,22	6,32	8,43	10,54

и фракционная степень очистки газов $\eta_{фр} = \exp(-\omega f/2)$ будет равна (%):

$\eta_{фр1}$	$\eta_{фр2}$	$\eta_{фр3}$	$\eta_{фр4}$	$\eta_{фр5}$	$\eta_{фр6}$	$\eta_{фр7}$
22	65	87,8	98,6	99,8	99,98	99,99

Общая степень очистки газов в (%):

$$\eta = \eta_{фр1} \frac{\Phi_1}{100} + \eta_{фр2} \frac{\Phi_2}{100} + \dots + \eta_{фр7} \frac{\Phi_7}{100} = 22 \frac{5}{100} + 65 \frac{10}{100} + 87,8 \frac{10}{100} + 98,6 \frac{15}{100} + 99,8 \frac{20}{100} + 99,98 \frac{20}{100} + 99,99 \frac{20}{100} = 91,139$$

где Φ – фракция пыли, %

На практике целесообразно проводить предварительное испытание опытного электрофильтра, когда трудно получить требуемые результаты на уже действующей установке. Отечественная практика проектирования установок электрогазоочистки показывает, что прогнозирование эффективности электрофильтра на основании теоретических предпосылок, или механического копирования аппаратов, работающих в кажущихся одинаковых условиях, приводит к существенным ошибкам.

Главной рекомендацией проектировщику А.М. Белевицкий считает, максимально тщательный поиск аналога и получение достоверных данных об условиях и результатах его работы.

Для использования аналога при проектировании установки электрогазоочистки предлагается выполнять расчеты по следующей формуле:

$$\frac{\eta_{ан}}{\eta_{пр}} = \frac{\omega_{ан} \Psi_{ан}}{\omega_{пр} \Psi_{пр}}, \quad (5)$$

где $\psi = L/HV_r$; L – длина активной зоны электрофильтра; H – разрядное расстояние; V_r – скорость газов в активном сечении электрофильтра.

Индексы «ан» и «пр» относят параметры соответственно к аналогу или прототипу. Следует, однако, отметить, что использование формулы (5) не позволяет получить корректные результаты.

Для учета изменения эффективной скорости дрейфа при изменении скорости газа и введения поправки на другие, не учитываемые формулой Дейча факторы, на основании анализа экспериментальных данных предложен вариант формулы для условий улавливания золы из дымовых газов энергетических котлов:

$$\eta = 1 - \exp(-\omega f)^{0,5}$$

В ряде случаев представляет практический интерес расчет очистки газов по эмпирической формуле предложенной Селзлером и Уотстоном

$$\eta = 1 - \exp\left[-K \left(\frac{S}{Q}\right)^{1,4} \left(\frac{P}{Q}\right)^{0,6} \left(\frac{c}{z}\right)^{0,22}\right]$$

где $K = 116$ при сжигании угля в распыленном состоянии;

$K = 90$ при использовании топки циклонного типа или если перед электрофильтром стоит механический осадитель (т.е. использование механической предочистки снижает скорость дрейфа пыли примерно на 30 %).

S – площадь осаждения, фут²; Q – количество очищаемого газа в электрофильтре, тыс. фут³/мин; P – потребляемая мощность, кВт; c/z – отношение массы серы в золе к массе золы.

Формула представляет возможность учесть влияние количества серы в угле на степень очистки газов.

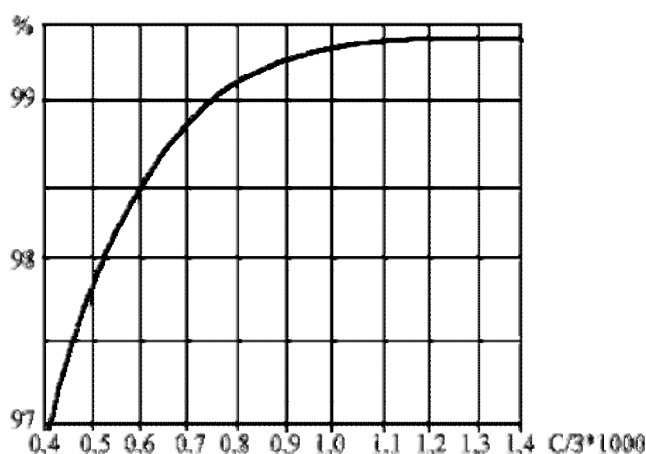


Рис. 2. Зависимость степени очистки от процентного содержания серы в золе угля (расчет по формуле Селзлера-Уотстона)

Для электрофильтров, улавливающих золу ТЭС, влияние напряжения зажигания короны U_0 на степень очистки газов может быть ориентировочно учтено с помощью формулы:

$$\eta = 1 - k_1 \exp(-k_2 U(U - U_0) L d_{50}),$$

где $k_1 = 0,25$; $k_2 = 6 \cdot 10^4 \dots 10^6$ в зависимости от УЭС слоя золы на осадительных электродах.

Выбор типоразмера электрофильтра при наличии аналоговой установки

Наиболее простым вариантом выбора типоразмера электрофильтра является случай, когда имеются надежные данные о работе аналогового аппарата в таких же или близких технологических условиях.

В этом случае при незначительных изменениях конструкции электрофильтра и аналогичных технологических условиях работы электрофильтра расчеты эффективности нового проекта установки электрогазоочистки могут производиться по формуле Дейча с использованием скорости дрейфа электрофильтра-аналога.

Однако во вновь проектируемых установках для обеспечения возрастающих требований к выбросам пыли в атмосферу разработчики, как правило, вынуждены изменять геометрические параметры электрофильтров (длину полей, их количество, высоту электродов, межэлектродное расстояние и др.) Кроме того, естественно используются аппараты, имеющие усовершенствованные элементы конструкции, существенно повышающие эффективность электрофильтра.

Так, например, применение коронирующих электродов СФ-1, СФ-2, имеющих пониженное напряжение зажигания позволяет снизить выбросы из электрофильтра в три раза, использование осадительного элемента Эко МК 4х160, имеющего отклонения от размеров прямолинейности не более 3-х мм на длине 18 м, позволяет снизить выбросы пыли не менее чем в два раза. Повышение эффективности за счет применения в системах регенерации электродов частотных преобразователей позволяет снизить выбросы до 3-х раз, микропроцессорных устройств управления высоковольтными преобразователями типа БУЭФ - более чем в 2,5раза.

Для учёта изменившихся условий работы и влияния новых конструктивных элементов электрофильтра обозначим в формуле Дейча относительные выбросы $1 - \eta = B$, прологарифмируем и, взяв соотношение выбросов пыли для аналога и прототипа получим:

$$\frac{\ln B_{ан}}{\ln B_{пр}} = \frac{\omega_{ан} f_{ан}}{\omega_{пр} f_{пр}}, \quad (6)$$

где ω – скорость дрейфа частиц;

$$f = \frac{S}{Q} = \frac{L}{H_0 V_T} = \frac{\tau}{H_0}, \quad (7)$$

S – площадь осаждения, m^2 ;

Q – количество очищаемых газов, m^3/c ; L – длина активной зоны электрофильтра, m ; H_0 – межэлектродное расстояние, m ; V_T – скорость газов в электрофильтре; τ – время пребывания газов в электрофильтре.

Используя формулы (6) и (7) можно определить параметры разных вариантов реконструкции.

Рассмотрим в качестве примера введение в расчеты поправки, обусловленной влиянием изменения длины активной зоны электрофильтра на величину скорости дрейфа.

Расчетная скорость дрейфа частиц, улавливаемых в электрофильтре пыли определяется по формуле:

$$v = \frac{0,118 E^2 10^{-10}}{\mu}, \text{ м/с} \quad (8)$$

где E – напряженность электрического поля в межэлектродном промежутке, В/м;

r – радиус частицы, мкм; μ – динамическая вязкость среды, (Н с) / м².

Из формулы (8) следует, что величина скорости дрейфа пропорциональна радиусу частиц. Тогда, используя формулу для распределения размера частиц по длине электрофильтра, при улавливании золы экибастузского угля

$$d_{50} = 1.07 \exp(-1,45 L), \quad (9)$$

можно выполнить расчет изменения скорости дрейфа в зависимости от длины электрофильтра (см. рис 3.)

При расчете степени очистки газов электрофильтром используют понятие эффективной скорости дрейфа, которая рассчитывается по экспериментально определенной степени очистки газов и учитывает все известные (и неизвестные) параметры, влияющие на эффективность улавливания пыли электрофильтром.

Добавление пятого поля при улавливании золы экибастузского угля на Рефтинской ГРЭС позволило снизить выбросы пыли из электрофильтра в два раза. На основании этого эксперимента, зная степень очистки газов в четырёхпольном и пятипольном электрофильтре, определим изменение эффективной скорости дрейфа по формуле (10).

$$v = \frac{Q}{S} \ln \left(\frac{1}{1-\eta} \right), \quad (10)$$

где Q – количество очищаемых газов, м³/с; S – площадь осаждения электрофильтра, м²; η – экспериментальная величина степени очистки газов.

Расчетные и экспериментальные данные по изменению скорости дрейфа при изменении длины активной зоны электрофильтра приведены на рис.3. Удовлетворительное совпадение экспериментальных и расчетных данных позволяет предположить правомерность расчета, с учетом формулы (10).

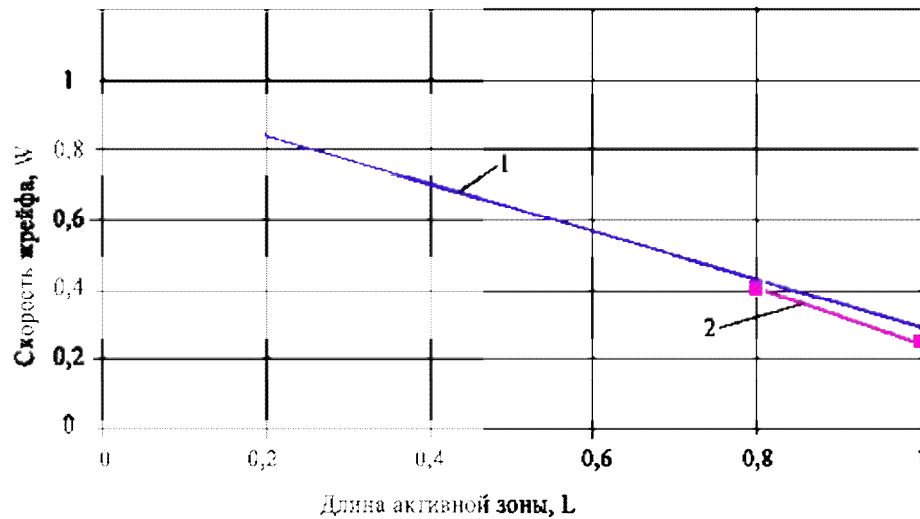


Рис. 3. Зависимость скорости дрейфа от длины активной зоны электрофильтра. 1 – расчет, 2 – эксперимент

С учетом зависимостей (6) и (7) выражение для определения проектной длины электрофильтра будет иметь следующий вид:

$$L_{\text{пр}} = L_a \frac{\omega_a \ln B_{\text{пр}}}{\omega_{\text{пр}} k \ln B_a}, \quad (11)$$

где k – коэффициент, учитывающий изменение величины скорости дрейфа при изменении длины активной зоны.

Рассмотрим в качестве примера выбор электрофильтра при наличии аналога со следующими параметрами:

Межэлектродное расстояние H = 0,15 м ;

Длина активной зоны L = 15,36 м ;

Скорость газов в электрофильтре ... V_г = 1,0 м/с;

Степень очистки газов η = 0,972;

Скорость дрейфа ω = 0,035 м/с.

Пусть требуется снизить выбросы пыли в 6 раз, оставив неизменным корпус электрофильтра.

Выполним расчеты по формуле (11) при неизменной скорости дрейфа. Тогда k=1.

$$L_{\text{пр}} = 15,36 \frac{0,035 \cdot 5,36}{0,035 \cdot 3,57} = 23,1 \text{ , м}$$

т.е. длину электрофильтра для достижения шестикратного снижения выходной запыленности необходимо увеличить в 1,5 раз.

С учетом уменьшения скорости дрейфа при увеличении длины электрофильтра k = 0,75, и тогда L пр составит 30,7 м. Отсюда следует, что для сохранения длины активной зоны электрофильтра при реконструкции необходимо скорость дрейфа увеличить в 2 раза.

Однако если внести конструктивные изменения (например, установить коронирующие элементы СФ-1 и прибор управления высоковольтным агрегатом типа БУЭФ), то скорость дрейфа возрастёт, а длина активной зоны электрофильтра останется прежней, т.е. электрофильтр может быть реконструирован в том же корпусе, и выбросы пыли из него будут снижены в 6 раз. Учитывая длительный срок эксплуатации электрофильтров и естественное снижение степени очистки газов в процессе длительной эксплуатации, целесообразно дополнительно увеличить эффективность электрофильтра, например, за счет установки устройств управления с частотным регулированием скорости вращения приводов.

Приведенный пример является иллюстрацией учета одного из изменяемых параметров во время реконструкции электрофильтра при наличии аналоговой установки.

Обычно при реконструкции установок электрогазоочистки используют комплекс, предусматривающий ряд мероприятий включающий режимные и конструктивные, а при необходимости (когда этих мероприятий не достаточно) могут дополнительно применяться более дорогостоящие проектные и технологические мероприятия.

Учет влияния какого-либо параметра на изменение степени очистки газов может быть произведен с приемлемой для практических целей точностью на основании имеющейся базы экспериментальных данных «СФ НИИОГАЗ» и «Кондор-Эко», например, в виде зависимостей скорости дрейфа от высоты электродов, междуэлектродного расстояния, количества полей при неизменной длине активной зоны и т.п.

В тех случаях, когда аналоговая установка отсутствует, расчет электрофильтра может быть выполнен теоретически по РДРТМ 26-14-80. Нормативный метод расчета электрофильтров для теплоэнергетики. В настоящее время в связи с усовершенствованием этой методики она применяется для электрофильтров различных отраслей промышленности. Расчет степени очистки газов электрофильтрами по этой методике производится по фракционным степеням очистки и дисперсному составу пыли.

$$\eta = 1 - \int (1 - H_{\phi}) \phi_{\text{вх}} \delta(d)$$

Расчет фракционных степеней очистки газов производится на ЭВМ по специальной программе, разработанной на основе математического описания физических процессов электрической очистки газов. Выбор требуемого электрофильтра может производиться в диалоговом режиме.

Уравнение Дейча предполагает полную зарядку частиц непосредственно на входе в электрофильтр. Погрешности при этом для большинства промышленных электрофильтров невелики. Однако при расчетах режимов встряхивания величина отклонения интервалов встряхивания при отсутствии запирающей короны может составлять до 20%, а при запирающей короне будет значительно больше.

В.Страус предлагает определять степень очистки газов следующим образом

$$\eta = 1 - \left(\frac{L + V_r + V_z}{V_r + V_z} \right)^{2\omega_r R}$$

где L – длина электрофильтра; V – скорость газа; R – радиус; t – эквивалентное время предварительной зарядки, определяемое из уравнения $q_0 = q_{\max} t / (t + \tau_0)$; q_{\max} – максимальный заряд, приобретённый частицей; τ – постоянная времени зарядки частицы:

$$\tau = \frac{4\epsilon_0}{N_i e U_i}$$

ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость; N_i – концентрация ионов в начале объёма; e – заряд электрона; U_i – подвижность ионов.

Для учета турбулентности, вихревой диффузии, и вторичного уноса частиц в уравнение Дейча вносят поправки. Анализ зависимости скорости дрейфа от скорости газов был выполнен Робинсоном и Фриландером.

Качественно этот анализ подтверждается экспериментами на промышленных электрофильтрах – зависимость скорости дрейфа от скорости газов имеет максимум. Снижение скорости дрейфа начинает происходить после того как вторичный унос в процессе осаждения превышает увеличение осаждения пыли за счет турбулентных пульсаций. Уильямс и Джексон, предположили, что происходит повторное смешение не осажённых частиц по причине вихревой диффузии в турбулентном ядре газового потока. Это теоретическое предположение было качественно подтверждено экспериментом.

Учет явлений турбулентности в уравнении степени очистки газов электрофильтром производился Инюшкиным Н.В. и Авербухом Я.Д.:

$$\eta = 1 - \exp \left\{ -k(\omega + \omega_t) \frac{L}{Q} \right\}$$

где ω и ω_t – скорости дрейфа, обусловленные электрическими силами и турбулентной пульсацией; k – коэффициент, учитывающий распределение частиц пыли.

Изучением проблемы степени очистки газа занимался Куперман. Он учитывал вихревую диффузию, электростатическую миграцию и повторное увлечение частиц в процессе осаждения. Однако им не получено численных решений, совпадающих с экспериментом.

Экспериментальные исследования на лабораторном и промышленном электрофильтрах показали, что унос пыли в процессе осаждения заключается в выбивании из осажённого слоя частиц пыли частицами, имеющими кинетическую энергию более, чем $10^{-8} \dots 10^{-10}$ Дж. Выбитые частицы уносятся потоком газа. В результате многочисленных экспериментов, выполненных на сухой и липкой поверхности осаждения было установлено, что унос пыли из осажённого слоя можно оценить с помощью коэффициента k_0

$$\eta = 1 - \exp(-k_0 \omega f);$$

где $k_0 = \exp(-0,65 f^{0,61})$, $f = \omega L / H_0 V_r$;

При величинах $f \geq 3$ величина $k_0=1$, т.е. уносом пыли в процессе осаждения в промышленных электрофильтрах в этих случаях можно пренебречь. Физически это объясняется тем, что кинетическая энергия частиц по причине уменьшения их размера по длине электрофильтра становится недостаточной для выбивания частиц из слоя.

Для уточненного расчета степени очистки газов электрофильтром необходимо учитывать все виды проскока и уноса пыли, приведенные на рис. 4.

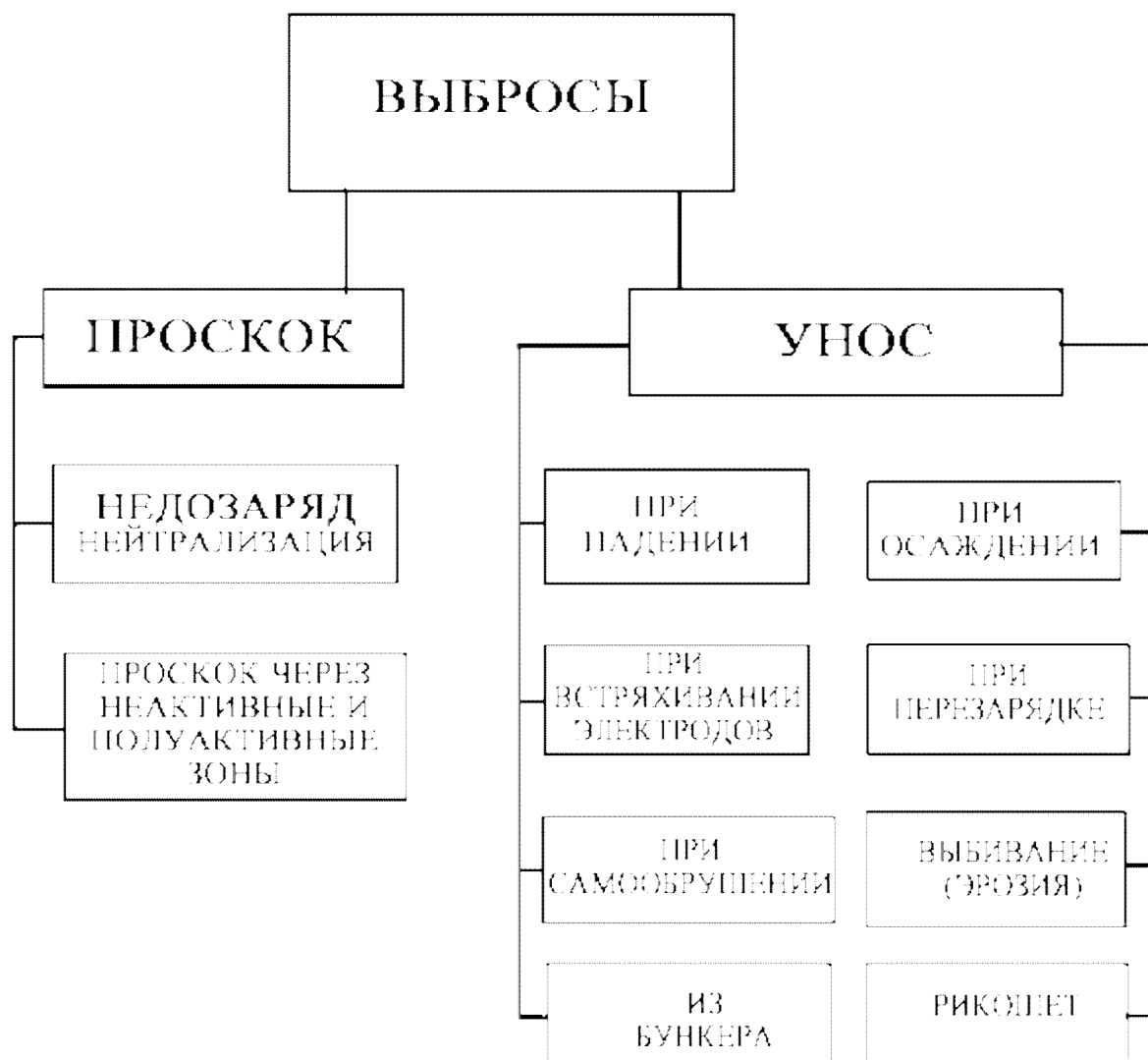


Рис. 4. Классификация выбросов пыли из электрофильтра

В настоящее время еще нет разработок, позволяющих учесть с помощью расчетов все виды выбросов пыли из электрофильтров. Поэтому применение эмпирических методик расчета электрофильтров в целом ряде случаев представляет практический интерес. Так в «Кондор-Эко» была разработана оценочный экспресс-метод для оперативного расчета параметров электрофильтров, который используется наряду с уже существующими методами.