

# Раздел первый ОХРАНА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА ОТ ВЫБРОСОВ ЭНЕРГОПРЕДПРИЯТИЙ

## 1.2. Золоулавливание на ТЭС

### 1.2.2. Технологии золоулавливания на ТЭС

#### 1.2.2.3. Электрофильтры

*Прохоров В.Б., МЭИ(ТУ)*

В качестве золоуловителей на ТЭС наиболее широкое применение нашли электрофильтры, так как они позволяют очистить газы от золы с эффективностью 0,990...0,998 при гидравлическом сопротивлении не более 200 Па. Капитальные затраты на сооружение электрофильтров высоки, так как эти аппараты металлоемки, занимают большую площадь, снабжаются специальными повышающе-выпрямительными агрегатами электропитания.

Сущность процесса электрической очистки газа заключается в следующем. В электрофильтрах запыленный газ движется в каналах, образованных осадительными электродами, между которыми расположены через определенное расстояние коронирующие электроды. К коронирующим электродам подводится постоянный ток высокого напряжения (как правило, отрицательный), а осадительные электроды заземлены. При определенной напряженности электрического поля происходит ионизация дымовых газов, сопровождающаяся возникновением коронного разряда, 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 действием сил электрического поля движутся к разноименным электродам, вследствие чего в межэлектродном пространстве возникает электрический ток, называемый током короны. Частицы золы, адсорбируя ионы, приобретают электрический заряд и под действием электрического поля двигаются к электродам, осаждаются на них. Основное количество частиц осаждается на разви-

той поверхности осадительных электродов, меньшая их часть попадает на коронирующие электроды. Через определенные промежутки времени с помощью ударного механизма происходит встряхивание электродов, и частички золы под действием силы тяжести падают в бункер.

Коронный разряд возникает при достижении определенной напряженности электрического поля, называемой критической. С увеличением напряженности выше критической ток короны увеличивается и эффективность улавливания золы возрастает. Однако при дальнейшем росте напряженности электрического поля произойдет пробой межэлектродного пространства искровым или дуговым электрическим зарядом. Таким образом, для электрической очистки дымовых газов необходимо выполнение условия

$$E_{кр} < E < E_{пр}, \quad (1.15)$$

где  $E_{кр}$ ,  $E_{пр}$  — критическая и пробойная напряженность электрического поля.

В целях снижения капитальных затрат и повышения эффективности золоулавливания конструкции электрофильтров непрерывно совершенствуются. До 1980 г. наибольшее распространение имели электрофильтры серии УГ (унифицированные горизонтальные), затем стали применяться электрофильтры серии ЭГА, ЭГБ и ЭГВ (электрофильтр горизонтальный модификаций А, Б и В). Технические показатели указанных типов электрофильтров приведены в табл. 1.9 [3]. Как видно из табл. 1.9, основное отличие этих аппаратов заключается в постепенном увеличении межэлектродного расстояния, что существенно снижает металлоемкость электрофильтров.

Таблица 1.9. Технические показатели электрофильтров

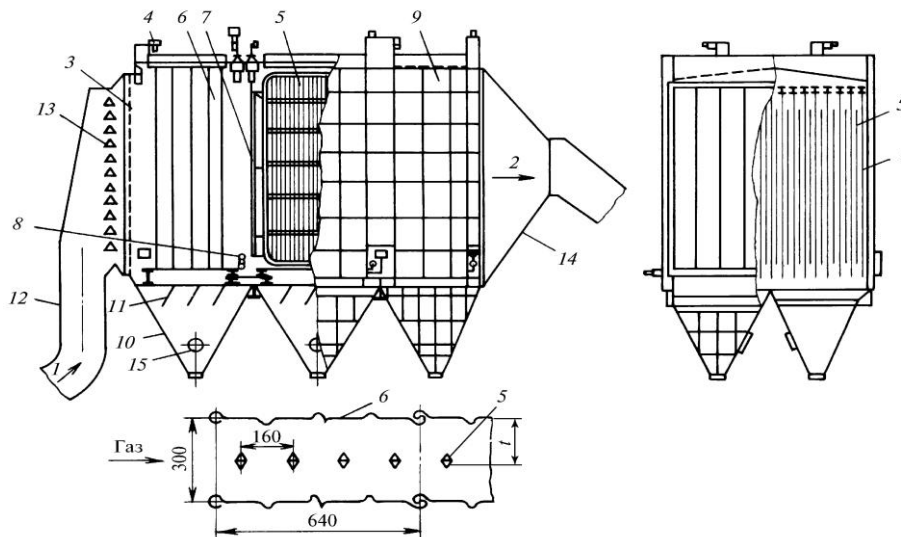
Показатель	Тип электрофильтра				
	УГ	ЭГА	ЭГБ	ЭГВ	ЭГД
Межэлектродное расстояние, мм	275	300	350	460	300
Активная высота электродов, м	4; 7,5; 12	6; 7,5; 9; 12	6; 7,5; 9; 12	6; 7,5; 9; 12; 15	18
Активное сечение, м <sup>2</sup>	10...265	16...285	16...285	10...364	181...350
Производительность при условной скорости газа 1 м/с, тыс. м <sup>3</sup> /ч	36,0... 954,0	57,6... 1026,0	57,6... 1026,0	36,0... 1360,0	651,6... 1260,0
Число электрических полей	2—4	2—4	2—5	2—8	3—5
Максимальные габаритные размеры, м:					
высота $H$	27,75	19,90	19,90	22,90	39,48
длина $L$	24,80	22,74	22,74	48,60	31,105
ширина $B$	29,87	29,54	29,54	35,75	25,94
Номинальное напряжение питающих агрегатов, кВ	80	80	80; 110	110	80

На рис. 1.26 представлен электрофильтр марки ЭГА, получивший наибольшее распространение в России. Дымовые газы после распределительной решетки поступают в коридоры, образованные вертикально висящими широкополосными осадительными электродами. Осадительные и коронирующие электроды объединяются по ходу движения газов в поля длиной от 2,56 до 5,12 м. В зависимости от требуемой степени очистки газов число полей может быть от двух до пяти. Увеличение числа полей повышает степень улавливания золы, однако это приводит к возрастанию расхода металла, габаритных

размеров и стоимости электрофильтра. Осадительные электроды набираются из стандартных элементов шириной 640 мм. Число элементов может изменяться от четырех до восьми.

В настоящее время наибольшее распространение получили осадительные электроды открытого профиля. В качестве коронирующих электродов ранее применялась проволока малого диаметра (3...5 мм) круглого или штыкового профиля.

Сейчас применяются коронирующие электроды с фиксированными точками разряда, представляющие



**Рис.1.26. Трехполюсный двухсекционный электрофильтр типа ЭГА:**

1 — вход запыленного газа; 2 — выход очищенного газа; 3 — газораспределительная решетка; 4 — подвод тока высокого напряжения; 5 — коронирующий электрод; 6 — осадительный электрод; 7 — встряхивающий механизм коронирующих электродов; 8 — встряхивающий механизм осадительных электродов; 9 — корпус; 10 — бункер; 11 — перегородки для уменьшения перетоков газа через бункер; 12 — подъемная шахта; 13 — газораспределительные объемные элементы МЭИ; 14 — конфузорный отвод дымовых газов; 15 — смотровые люки в бункерах;  $t$  — расстояние между коронирующим и осадительным электродами

собой колочую проволоку или тонкостенные элементы с выштампованными через определенные промежутки иглами. В обозначении электрофильтра марки ЭГА указываются следующие основные показатели: число параллельных секций; количество газовых проходов между осадительными электродами; высота электродов; число элементов в осадительном электроде; число полей. Так, электрофильтр ЭГА 2-56-12-6-4 обозначает: электрофильтр горизонтальный модификации А, с двумя параллельными секциями, с 56 газовыми проходами, с высотой электродов равной 12 м, с шестью элементами в осадительном электроде и четырьмя последовательно установленными полями.

Корпус электрофильтра выполняется металлическим. Под каждым полем электрофильтра установлен бункер для сбора уловленной золы. Подвод электрического тока высокого напряжения к электрофильтру (60...80 кВ) осуществляется агрегатами питания. Агрегат питания состоит из регулятора напряжения, повышающего трансформатора и выпрямителя. Для обеспечения оптимального режима питания напряжение на электродах должно поддерживаться на максимально высоком уровне, но ниже пробивного. Процесс регулирования напряжения на электродах электрофильтра автоматизирован. Для регулирования выходного тока и напряжения используются магнитные усилители и тиристоры. Агрегаты питания оснащаются полупроводниковыми выпрямителями.

Преобразуем выражение (1.6):

$$P = vA/V = vf, \quad (1.16)$$

где  $f$  — удельная поверхность осаждения.

Таким образом, параметр золоулавливания и степень улавливания золы определяются двумя факторами: скоростью дрейфа и удельной поверхностью осаждения. Увеличив  $f$ , получим высокую степень улавливания золы, однако это связано с увеличением габаритных размеров электрофильтра и увеличением его стоимости.

Скорость дрейфа определяется в основном электрическими характеристиками электрофильтра и пылегазового потока. Теоретическое выражение для опреде-

ления скорости дрейфа, м/с, имеет следующий вид:

$$v = \frac{\epsilon_0 E_3 E_{oc} d}{\mu} \frac{\epsilon}{\epsilon + 2}, \quad (1.17)$$

где  $\epsilon_0$  — диэлектрическая проницаемость вакуума, Ф/м;  $\epsilon$  — относительная диэлектрическая проницаемость вещества частицы;  $E_3$  — напряженность электрического поля зарядки, В/м;  $E_{oc}$  — напряженность электрического поля осаждения, В/м;  $\mu$  — динамическая вязкость газов, Па·с;  $d$  — диаметр частицы золы, м;  $\epsilon$  и  $\mu$  пылегазового потока в электрофильтрах практически не меняются, поэтому параметр золоулавливания и степень улавливания золы зависят от напряженности электрического поля зарядки и осаждения, а также от размеров частиц золы. Мелкие частицы золы улавливаются хуже, чем крупные. Однако в электрофильтрах мелкие частицы золы улавливаются лучше, чем в инерционных, у которых параметр золоулавливания пропорционален диаметру частицы во второй степени. Определить теоретическим путем  $E_3$  и  $E_{oc}$  затруднительно, и расчет скорости дрейфа по формуле (1.17) возможен только при наличии опытных данных по электрическим характеристикам.

Скорость дрейфа в электрофильтре значительно зависит от удельного электрического сопротивления золы  $\rho$ . На рис. 1.27, а показано изменение скорости дрейфа в зависимости от удельного электрического сопротивления. В области  $\rho = 10^8 \dots 10^9$  Ом·м происходит резкое падение скорости дрейфа, что связано с образованием «обратной короны».

Сущность этого явления заключается в том, что на слое золы с высоким удельным электрическим сопротивлением, осевшей на осадительном электроде, происходит большое падение напряжения, а в газовой промежутке его падение уменьшается. Падение напряженности электростатического поля приводит к снижению скорости дрейфа и снижению степени улавливания золы. Кроме того, при превышении некоторого критического значения напряженности электрического поля в слое золы происходит пробой пористого слоя, в результате которого образуется тонкий канал, заполненный положитель-

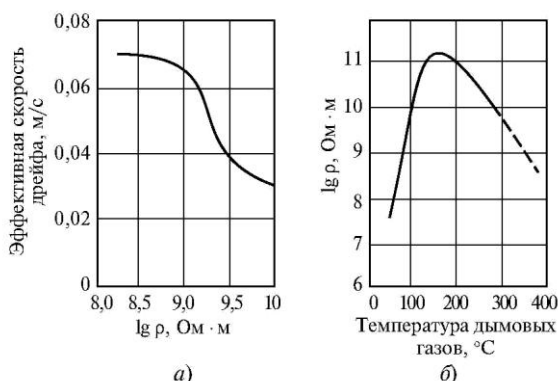


Рис. 1.27. Влияние свойств пылегазового потока на работу электрофильтров (на примере экибастузского угля):

*a* — зависимость эффективной скорости дрейфа от логарифма удельного сопротивления золы; *b* — зависимость  $\lg \rho$  золы от температуры дымовых газов

ными ионами. Канал выполняет роль острия, с которого развивается мощный обратный коронный разряд, действующий навстречу основному. В межэлектродное пространство выбрасываются положительно заряженные ионы, которые нейтрализуют отрицательно заряженные частички золы, двигавшиеся к осадительному электроду, и эффективность улавливания золы резко снижается.

Удельное электрическое сопротивление золы зависит от температуры и влажности газов, от химического состава дымовых газов. Микросодержание некоторых примесей может существенно влиять на снижение удельного электрического сопротивления золы (например, концентрация  $\text{SO}_3$ ).

Для повышения эффективности улавливания золы с высоким удельным электрическим сопротивлением разработан ряд методов. На рис. 1.27, *b* показана зависимость удельного электрического сопротивления золы от температуры дымовых газов, из которой видно, что в области наиболее типичных температур уходящих газов ( $t_{\text{вх}} = 140 \dots 160$  °С) наблюдается максимум удельного электрического сопротивления золы. С ростом или снижением температуры от указанных значений происходит уменьшение электрического сопротивления золы.

Использование правой высокотемпературной ветви характеристики возможно при установке электрофильтров перед воздухоподогревателем в зоне температур дымовых газов 350...400 °С. Однако этот путь является нерентабельным в связи со значительным увеличением объемного расхода дымовых газов, что вызывает необходимость увеличения габаритных размеров электрофильтра и приводит к усложнению конструкции его элементов при высоких температурах.

Для снижения удельного электрического сопротивления золы получило практическое применение температурно-влажностное кондиционирование дымовых газов, которое может осуществляться как за счет установки перед электрофильтром мокрого скруббера, так и за счет подачи воды перед электрофильтром через специальные мелкодисперсные форсунки. Температурно-влажностное кондиционирование дымовых газов приводит к снижению температуры газов до 80...90 °С. При этом зола адсорбирует своей поверхностью влагу и различные химические вещества, в первую очередь серный ангидрид. Это приводит к снижению удельного электрического сопротивления и повышению эффективности улавливания золы. При применении этого метода очень важным является обеспечение мелкодисперсного распыла влаги во всем объеме дымовых газов, чтобы она успела испариться до входа в электрофильтр. В противном случае это

приведет к повышенной коррозии элементов электрофильтра.

Другой путь снижения удельного электрического сопротивления золы заключается в применении химического кондиционирования дымовых газов микродозами серного ангидрида. Так, при подаче в дымовые газы  $\text{SO}_2$  в количестве 20 ppm (20 миллионных долей по объему) удельное электрическое сопротивление золы снижается и удается предотвратить образование обратной короны.

Несмотря на эффективность химического кондиционирования этот метод пока не получил распространения в России из-за эксплуатационных трудностей и затрат, связанных с получением и подачей в котел тех или иных агрессивных веществ.

Предотвратить образование обратной короны или снизить ее интенсивность можно путем подачи на электроды импульсного напряжения и питания электрофильтра напряжением переменной полярности. Эти способы находятся в стадии опытной проверки.

Для повышения эффективности улавливания золы с высоким удельным электрическим сопротивлением применяются пониженные скорости газов в электрофильтре. Это приводит к увеличению габаритных размеров электрофильтра и повышению его стоимости, но позволяет компенсировать неблагоприятное воздействие обратной короны. Так, если для обычной золы скорость газов в электрофильтре принимается равной 1,5...1,8 м/с, то при высоком удельном электрическом сопротивлении она равна 1,0...1,2 м/с.

Из распространенных в России углей высокое удельное электрическое сопротивление имеют золы экибастузских и кузнецких углей.

На степень улавливания золы большое влияние оказывает равномерность распределения поля скоростей дымовых газов по сечению электрофильтра, которую можно оценить с помощью степени заполнения объема электрофильтра  $m$ :

$$m = \frac{\left( \sum_{i=1}^{i=n} u_i \right)^2}{n \sum_{i=1}^{i=n} u_i^2}, \quad (1.18)$$

где  $u_i$  — скорость газа в элементарной площадке электрофильтра;  $n$  — число равновеликих элементарных площадок в поперечном сечении электрофильтра.

Степень заполнения объема электрофильтра  $m$  определяется при исследовании аэродинамических характеристик модели электрофильтра с подводящими и отводящими газоходами. Поперечное сечение модели электрофильтра разбивается на  $n$  равновеликих площадок, и в центре каждой площадки проводится измерение скорости потока.

Величина  $m$  непосредственно связана со степенью проскока золы по выражению

$$P_a = P_p^m, \quad (1.19)$$

где  $P_p$  — проскок золы через электрофильтр при равномерном поле скоростей;  $P_a$  — проскок золы при поле скоростей со степенью заполнения объема равной  $m$ .

Кроме степени заполнения объема, в качестве характеристики равномерности распределения поля скоростей иногда используется среднеарифметическая величина квадрата отклонения скорости от ее среднего значения, которую можно определить из выражения

$$\Delta \bar{u}_{cp}^{-2} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} \Delta \bar{u}_j^{-2}, \quad (1.20)$$

где

$$\bar{u}_j^{-2} = \left( \frac{u_j - u_p}{u_p} \right)^2; \quad (1.21)$$

$u_j$ ;  $u_p$  — соответственно скорость газов в  $j$ -й точке и скорость газов при равномерном поле скоростей.

Проскок золы через электрофильтр связан со среднеарифметической величиной квадрата отклонения скорости от ее среднего значения следующим выражением:

$$P_a = (1 + R \Delta \bar{u}_{cp}^{-2}) P_p \quad (1.22)$$

где  $R$  — коэффициент, учитывающий увеличение влияния неравномерности поля скоростей газов в зависимости от эффективности улавливания золы,

$$R = 0,125(1 + P_p) P_p \quad (1.23)$$

где  $P_p$  — параметр золоулавливания при равномерном поле скоростей.

Влияние коэффициента  $R$  возрастает для электрофильтров с высокой степенью улавливания золы, поэто-

му для повышения степени улавливания золы необходимо обеспечивать максимальную равномерность поля скоростей.

Величину  $\Delta \bar{u}_{cp}^{-2}$  можно записать через степень заполнения объема:

$$\Delta \bar{u}_{cp}^{-2} = \frac{1}{m} - 1 \quad (1.24)$$

Если не принимать специальных мер, то в электрофильтре будет наблюдаться большая неравномерность поля скоростей. Это вызвано тем, что скорость газов в конвективной шахте котла значительно выше, чем в электрофильтре, поэтому на входе в электрофильтр необходимо устанавливать диффузор с большими углами раскрытия, что приводит к неравномерному распределению скоростей газов по сечению электрофильтра.

Для повышения равномерности поля скоростей на входе в электрофильтр устанавливаются объемные и плоские решетки. На рис. 1.28, а, б приведены газораспределительные устройства при подводе газов к электрофильтру снизу и при прямом подводе.

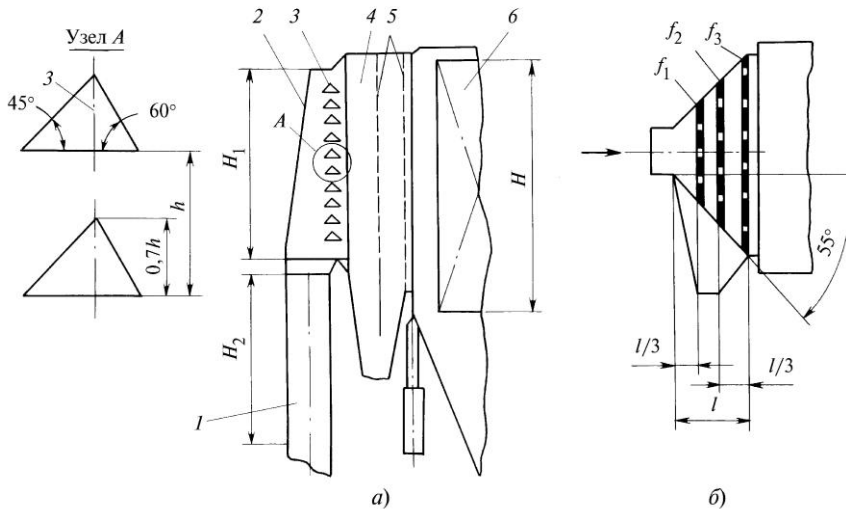


Рис. 1.28. Газораспределительные устройства:

а — газораспределительное устройство МЭИ для подвода газов снизу, где 1 — подъемная шахта; 2 — скошенная часть подъемной шахты; 3 — решетка из объемных элементов; 4 — форкамера; 5 — перфорированные плоские газораспределительные решетки с живыми сечениями  $f_1 = 0,7$ ,  $f_2 = f_3 = 0,5$ ; 6 — активное поле электрофильтра; б — газораспределительное устройство с диффузором при горизонтальном подводе газов

При подводе газов к электрофильтру снизу рекомендуется применять газораспределительное устройство МЭИ, состоящее из вертикальной подъемной шахты постоянного сечения, объемной решетки и двух плоских решеток. Объемная решетка устанавливается в месте поворота газов к электрофильтру. Объемные элементы разделяют входную камеру по высоте на ряд горизонтальных каналов, каждый из которых представляет собой

сначала конфузор, а затем диффузор. Нижние стенки каналов (боковые стороны треугольных элементов) выполнены наклонными для предотвращения отложения золы (углы при основании треугольников приняты равными на входе  $45^\circ$ , на выходе  $60^\circ$ ). Для того чтобы расход газов через все каналы, образованные объемными элементами, был одинаковым, верхний участок подъемной шахты выполняется со скошенной передней стенкой.

Таблица 1.10. Входные и средние по объему электрофильтра среднеарифметические величины отклонения квадрата скорости газов для газораспределительного устройства с объемными элементами МЭИ

Относительная высота подъемной шахты $l = H_2 / H$	Одна решетка			Две решетки		
	$\Delta \bar{u}_{вх}^{-2}$	$\Delta \bar{u}_{cp}^{-2}$ при числе полей		$\Delta \bar{u}_{вх}^{-2}$	$\Delta \bar{u}_{cp}^{-2}$ при числе полей	
		3	4		3	4
0	0,176	0,100	0,084	0,087	0,068	0,055
0,4	0,099	0,079	0,070	0,064	0,053	0,047
0,8	0,064	0,064	0,060	0,042	0,042	0,042

Живое сечение объемной решетки  $f$  принимается равным 0,25...0,35. За объемной решеткой поток принимает горизонтальное направление и проходит практически по нормам через две плоские решетки. Каждая плоская решетка имеет живое сечение равное 0,5.

При прямом подводе газов к электрофильтру (рис. 1.28, б) применяется диффузор с умеренным углом раскрытия, в котором устанавливаются плоские решетки (от одной до трех). В табл. 1.10 и 1.11 приведены среднеарифметические величины квадрата отклонения скорости газов на входе в электрофильтр  $u_{вх}^{-2}$  и по объему электрофильтра  $u_{ср}^{-2}$  для нижнего и прямого подвода газов к электрофильтру.

Таблица 1.11. Входные и средние по объему электрофильтра среднеарифметические величины отклонения квадрата скорости для диффузорного газораспределительного устройства

Число решеток	$u_{вх}^{-2}$	$u_{ср}^{-2}$ при числе полей	
		3	4
1	0,538	0,150	0,120
2	0,235	0,115	0,096

Снижение эффективности золоулавливания вызывает движение пылегазового потока вне активных зон электрофильтра. Основная часть газов движется в активной зоне электрофильтра в пространстве между осадительными и коронирующими электродами, где происходит зарядка и осаждение частиц золы. Однако часть газов может двигаться в неактивных и полуактивных зонах электрофильтра. Неактивными зонами электрофильтра являются области над электродной системой и под ней (вместе с пылесборными бункерами), а также промежутки между крайними осадительными электродами и корпусом электрофильтра. В неактивных зонах отсутствует напряженность электрического поля и зола не улавливается. Наибольшие протечки газов происходят через нижнюю неактивную зону электрофильтра ниже электрод-

ной системы. Выполнить глухое перекрытие неактивных зон не представляется возможным в связи с необходимостью соблюдения пробойных промежутков и сохранения зазоров между корпусом и электродами для нормального встряхивания.

В современных конструкциях электрофильтров высота коронирующих электродов выполняется несколько меньшей, чем осадительных. Зона, где есть осадительный электрод и отсутствует коронирующий, имеет ослабленное электрическое поле и называется полуактивной. Проскок золы в полуактивной зоне в 2...3 раза выше, чем в активной.

Проскок золы  $P$  через электрофильтр с учетом протечки газов через неактивные и полуактивные зоны можно определить из выражения

$$P = (1 - \varphi_{п} - \varphi_{н})P_a + \beta\varphi_{п}P_a + \varphi_{н}, \quad (1.25)$$

где  $P_a$  — проскок золы без учета протечек газов через неактивные и полуактивные зоны;  $\beta$  — коэффициент, учитывающий увеличение степени проскока золы в полуактивных зонах,  $\beta = 2...3$ ;  $\varphi_{п}$ ,  $\varphi_{н}$  — доля потока, проходящего через полуактивные и неактивные зоны. Долю потока, проходящего через полуактивные зоны, можно определить из выражения

$$\varphi_{п} = 1 - \frac{H_k}{H_{ос}}, \quad (1.26)$$

где  $H_k$  и  $H_{ос}$  — высота коронирующих и осадительных электродов соответственно.

Для снижения протечек газов через нижнюю неактивную зону применяются газоотсекатели на входе в электрофильтр и перегородки внутри бункеров. В МЭИ под руководством проф. Л.А. Рихтера были проведены исследования при различных вариантах установки перегородок внутри бункеров. Результаты исследований представлены на рис. 1.29, а, б, из которого видно, что вертикальные перегородки внутри бункеров малоэффективны.

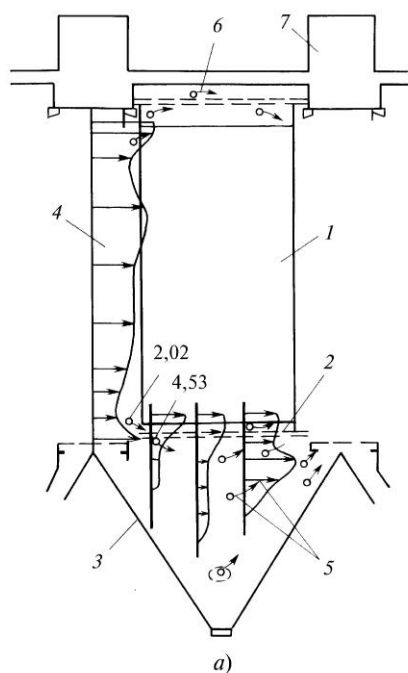


Схема бункерных перегородок	$\varphi_{н}$ при числе полей	
	3	4
	0,023	0,01
	0,022	0,009
	0,020	0,008
	0,002	0,001

Рис. 1.29. Схема движения пылегазового потока через неактивные зоны:

а — движение потока в поле электрофильтра, где 1 — активная зона; 2 — полуактивная зона; 3 — бункер; 4 — поле скоростей в активной зоне; 5 — поля скоростей и направление движения потока в нижней (бункерной) неактивной зоне; 6 — движение потока в верхней неактивной зоне; 7 — изоляционные коробки; б — движение потока через бункер электрофильтра в зависимости от типа и числа перегородок

В связи с этим было предложено устанавливать внутри бункеров наклонные перегородки. Как видно из рис. 1.29, б, установка трех наклонных перегородок примерно в 10 раз снижает протечки газов через нижнюю неактивную зону по сравнению с вертикальными перегородками. Угол наклона перегородок выбирается таким, чтобы предотвратить отложения золы на перегородках.

Эффективность улавливания золы зависит от режима встряхивания электродов. Промежутки времени между встряхиваниями должны быть оптимизированы для каждого поля, так как в каждом последующем поле количество осаждаемой золы уменьшается и, следовательно, длительность периода встряхивания должна увеличиваться. Расчет оптимального режима встряхивания, т.е. определение паузы между ударами по одному и тому же осадительному электроду в минутах, может быть выполнен по следующей зависимости:

$$\tau = 16,7 \frac{A_{\text{п}} m_0}{V C_{\text{вх.п}} \eta_{\text{п}}}, \quad (1.27)$$

где  $A_{\text{п}}$  — площадь осаждения поля,  $\text{м}^2$ ;  $V$  — количество газов, поступающих в поле,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $C_{\text{вх.п}}$  — запыленность на входе в поле,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;  $\eta_{\text{п}}$  — степень очистки поля электрофильтра;  $m_0$  — оптимальная пылеемкость электрода,  $\text{кг}/\text{м}^2$  (оптимальное количество пыли на единице поверхности осадительного электрода перед встряхиванием).

Оптимальная пылеемкость электрода определяется в зависимости от удельного электрического сопротивления золы по эмпирическому соотношению:

$$m_0 = 3 - 0,25 \lg \rho. \quad (1.28)$$

При известной степени проскока золы через весь электрофильтр степень проскока через одно поле определяется по соотношению

$$P_{\text{п}} = P^{1/n}, \quad (1.29)$$

а степень улавливания золы полем электрофильтра

$$\eta_{\text{п}} = 1 - P_{\text{п}} = 1 - P^{1/n}, \quad (1.30)$$

где  $n$  — число полей по ходу газов.

Концентрация золы на входе в  $m$ -е поле определяется по выражению

$$C_{\text{вх.п}} = C_{\text{вх}} P_{\text{п}}^{m-1}, \quad (1.31)$$

где  $C_{\text{вх}}$  — концентрация золы при входе в первое поле электрофильтра.

В табл. 1.12 приведены рассчитанные по приведенной методике оптимальные соотношения интервалов встряхивания осадительных электродов. Параметр золоулавливания при равномерном поле скоростей  $\Pi_{\text{р}}$  определяется из эмпирического соотношения:

$$\Pi_{\text{р}} = 0,2 K_{\text{ун}} \sqrt{\frac{v}{u}} \frac{n L_{\text{п}}}{t}, \quad (1.32)$$

где  $n$  — число полей электрофильтра;  $L_{\text{п}}$  — длина одного поля,  $\text{м}$ ;  $t$  — расстояние между осадительными и коронирующими электродами;  $K_{\text{ун}}$  — коэффициент, учитывающий вторичный унос уловленной золы, определяемый по выражению

$$K_{\text{ун}} = K_{\text{н}} K_{\text{эл}} K_{\text{вс}} [1 - 0,25(u - 1)], \quad (1.33)$$

где  $K_{\text{н}} = 7,5/H$  — коэффициент, который учитывает, что при увеличении высоты электрода  $H$  вторичный унос возрастает, так как часть золы не успевает осесть в бункере;  $K_{\text{вс}}$  — коэффициент, учитывающий режим встряхивания. При периодическом встряхивании при оптимальном режиме  $K_{\text{вс}} = 1,3$  для трехпольных электрофильтров, а для четырехпольных  $K_{\text{вс}} = 1,7$ ;  $K_{\text{эл}}$  — коэффициент, учитывающий тип электродов, для современных электродов с фиксированными точками разряда  $K_{\text{эл}} = 1$

Таблица 1.12. Оптимальные соотношения интервалов встряхивания осадительных электродов  $\eta$

Номер поля	Степень очистки газов в электрофильтре			
	0,95	0,98	0,99	0,999
<b>Трехпольный электрофильтр</b>				
1	1	1	1	1
2	2,7	3,7	4,6	10
3	7,4	13,6	21,5	100
<b>Четырехпольный электрофильтр</b>				
1	1	1	1	1
2	2,1	2,7	3,2	5,6
3	4,5	7,1	10,0	31,6
4	9,6	18,8	31,6	178,0

Скорость дрейфа определяется по выражению:

$$v = 0,25 E_{\text{эф}}^2 d, \quad (1.34)$$

где  $d$  — диаметр частиц золы,  $\text{м}$ ;  $E_{\text{эф}}$  — эффективная напряженность электрического поля, определяемая по выражению

$$E_{\text{эф}} = K_{\text{о.к}} E, \quad (1.35)$$

где  $K_{\text{о.к}}$  — коэффициент, учитывающий снижение эффективности улавливания золы при наличии обратной короны (табл. 1.13).

Таблица 1.13. Средние напряженности электрического поля  $E$  и коэффициенты  $K_{\text{о.к}}$  для золы некоторых энергетических углей России

Марка угля	$E$ , кВ	$K_{\text{о.к}}$
Кузнецкий Г	240	0,62
Экибастузский СС	240	0,83
Подмосковный Б	245	1,0
Донецкий АШ, ГСШ	250	1,0
Канско-ачинский Б	280	1,0

При точных расчетах скорость дрейфа по формуле (1.35) необходимо считать для каждой фракции золы отдельно. Для упрощенных расчетов рассевку золы можно характеризовать средним медианным диаметром  $d_{50}$  ( $d_{50}$  — это диаметр ячейки сита, при котором 50 % золы по массе остается на сите).

Для упрощенных расчетов формула (1.35) записывается в виде

$$v = 0,25 E_{\text{эф}}^2 d_{50}. \quad (1.36)$$