# Лекция 3

## 2.3. ИНЕРЦИОННЫЕ ЗОЛОУЛОВИТЕЛИ

В качестве инерционных (механических) золоулови­телей наибольшее применение получили циклоны, в которых осаждение происходит за счет центробежных сил при вращательном движении потока. Газ, поступающий тангенциально через входной патрубок (рис. 2.3,а), движется в канале, образованном наружной и внутрен­ней цилиндрическими поверхностями циклона, где под действием центробежных сил происходит отделение пы­ли. Очищенный газ удаляется через внутренний цилиндр вверх, а осевшая на наружной стенке зола ссы­пается под действием силы тяжести в коническую воронку и далее в общий бункер.

Парамет­р золоулавливания в циклоне определяется по выражению:

, (2.10)

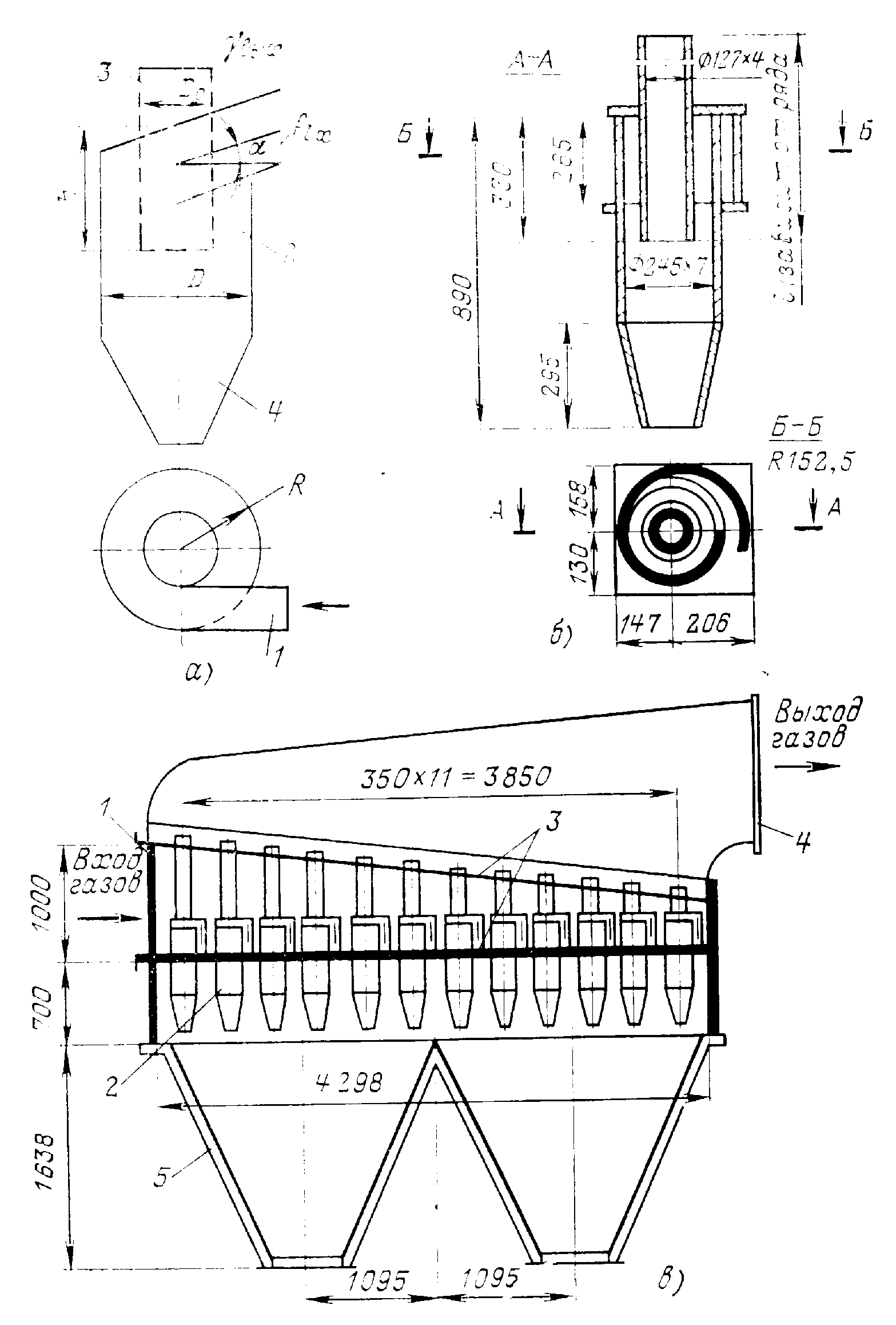
где , с - время релаксации - время разгона ча­стицы от нулевого   
 до заданного значения скорости (в данном случае   
 до скорости дрейфа частицы к поверхности осаждения)   
 при постоян­ном значении ускорения (в рассматриваемом случае ускорение *а=u2/R* );

Здесь *ρ*ч – плотность частицы, кг/м3;  
 *d* - ее диаметр, м;  
 *μ* - коэффиициент динамической вязкости газа, Па с;  
 *R* – радиус циклона, м;  
 *n* – число оборотов потока до выхода из циклона;  
 ;  
 Здесь D0 – диаметр внутреннего цилиндра циклона, м;  
 D – диаметр циклона, м;

Из (2.10) следует, что степень улавливания возрастает для крупных и плотных частиц (с ростом времени релаксации), скорости газов и с уменьшением радиуса циклона. Вторая дробь (2.10) определяется формой циклона - относительным диа­метром выходного отверстия, глубиной погружения тру­бы и углом установки подводящего к циклону патрубка.

Формула (2.10) позволяет оценить лишь характер влияния основных величин на параметр золоулавлива­ния; практический же расчет параметра золоулавлива­ния циклона ведется на основании эмпирических зави­симостей.

Для повышения эффективности применяются батарейные циклоны, составленные из циклонов малого диаметра, обычно около 250 мм. Степень улавливания батарейных циклонов находится на уровне 82—90% при гидравли­ческом сопротивлении 500—700 Па.



*Рис.2.3.* Циклонные золоуловители:  
 *а —* принципиальная схема; 1 - входной патрубок для запыленного газа; 2 - корпус (поверхность золоулавливания); 3 - выходной па­трубок очищенного газа; 4 - бункер для золы; *б* - элемент батарейного цик­лона;   
 *в -* батарейный циклон; 1 - входной патру­бок; 2 - циклонный элемент; 3 - трубные доски; 4 - выходной патрубок очищенного газа; 5 - бункер для золы

В качестве элемента батарейных циклонов использу­ется большое количество модификаций: с аксиальным подводом газа и лопаточными завихрителями, с тан­генциальным подводом газа, прямоточные и др.

В настоящее время для энергетических установок рекомендуется применение элемента с тангенциальным улиточным подводом газа типа «Энергоуголь» с вну­тренним диаметром 231 мм (рис. 2.3,6).

В маркировке циклонов содержатся основные дан­ные по типоразмерам, например 4хl4хm означает че­тырехсекционный аппарат с 14 элементами в глубину, с *т* элементами по ширине (их может быть от 7 до 24).

Противопоказание для применения батарейных циклонов - сильная слипаемость пыли, приво­дящая к их замазыванию. Поэтому не рекомендуется их применение для сильнослипающей­ся пыли IV груп­пы, в частности на АШ.

## 2.4. МОКРЫЕ ЗОЛОУЛОВИТЕЛИ

Простейшим типом мокрого золоуловителя является центробежный скруббер (рис. 2.4,а). Отличие его работы от сухого инерционного состоит только в том, что при наличии на стенке стекающей пленки воды отсепарированная за счет центробежных сил зола лучше отводится из скруббера в бункер, при этом уменьшается вторичный захват зольных частиц со стен­ки газовым потоком.

Поэтому параметр золоулавливания в этих скрубберах определяется формулами типа (2.10). Степень улавливания в мокрых золоуловителях *η* = 0,82-0,90.

Более высокая степень улавливания достигается при применении мокрых скрубберов с устройством для пред­варительного увлажнения газа (например, с предвари­тельно включенным коагулятором в форме трубы Вентури). В этом случае частички пыли захватываются бо­лее крупными каплями воды, в результате чего происходит процесс их коагуляции. Затемэти коагулированные частицы эффективно задерживаются на стен­ках центробежных скрубберов.

На рис.2.4,6 показана схема золоуловителя с коа­гулятором в форме трубы Вентури.  
Перед трубой Вентури в движущийся поток газов через разбрызги­вающий насадок вводится вода.

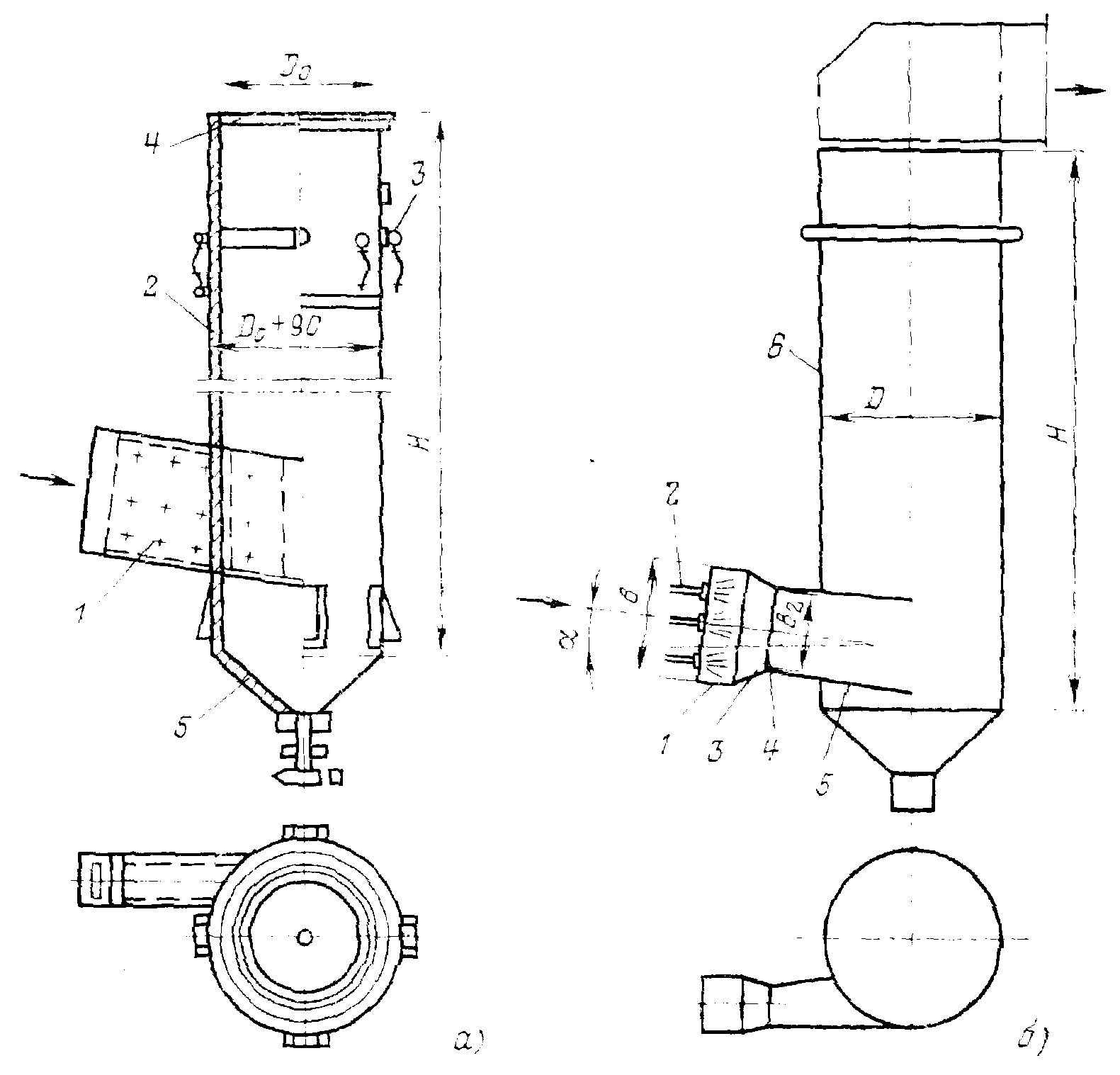
Труба Вентури состоит из конфузора, в котором происходит разгон пылегазового потока до скорости 50-70 м/с, горловины, в которой про­исходит дробление капель при взаимодействии с бы­стро движущимся потоком, и диффузора, в котором происходят столкновение частиц золы с каплями воды и снижение скорости пылегазового потока.

Далее поток тангенциально вводится в скруббер, стенки которого оро­шаются водой, и коагулированные частицы эффективно удаляются в золовой бункер.

Размер капель оказывается тем меньше, чем больше скорость газа в горловине.

Захват частиц золы каплями происходит за счет двух механизмов:

* быстро несущиеся со скоростью газов частицы золы попадают в капли, которые еще не успели разогнаться потоком газа.
* за счет турбулентных пульсации частиц золы, кото­рые попадают   
  в мало пульсирующие капли.



*Рис.2.4.* Мокрые золоуловители:

*а* - центробежный скруббер:   
 1 - входной патрубок газа: 2 – корпус; 3 *-* оросительные сопла;   
 4 - выход очищенного газа; 5 *-* бункер;

*б* - золоуловитель с коагулятором Вентури:   
 1 - входной патрубок запыленного газа; 2 - подача воды через оросительные сопла;   
 3 - конфузор, 4 – горловина и 5 - диффузор коагулятора Вентури;   
 6 *-* скруббер-каплеуловитель.

Величина проскока в золоуловителях с трубой Вентури определяется выражением

 (2.11)

где П - параметр золоулавливания для трубы Вентури

П = 0,3 *ε*т *Q*ж *u*г *L* , (2.12)  
 Здесь *ε*т - степень турбулентных пульсаций;  
 *Q*ж – удельный расход жидкости на 1 м3 очищаемого газа, л/м3;*u*г - скорость газов в горловине трубы Вентури, м/с;*L* - расстояние между трубой Вентури и скруббером, м.

Таким образом, эффективность мокрых золоуловите­лей с трубой Вентури определяется произведением четырех последних величин.

В отечественной практике применение получили два типа мокрых золоуловителей с трубой Вентури:

* золоуло­витель МВ-УО ОРГРЭС с вертикальным и/или горизонтальным расположением трубы Вентури круг­лого сечения,
* золоуловитель МС-ВТИ только с горизонтальным рас­положением   
  трубы Вентури прямоугольного сечения.

Мокрые золоуловители не рекомендуется применять для топлив:

* с содержанием в золе более 15-20% СаО;
* с приведенной сернистостью топлива более 0,3% / МДж.

Жесткость орошаемой воды не долж­на превышать 15 мг-экв/л.

## 2.5. ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ

Наиболее перспективным типом золоуловителей для ТЭС являются электрофильтры, которые обеспечивают высокую степень очистки газов *η* = 0,99-0,995 при гидравлическом сопротивлении не бо­лее 150 Па без снижения температуры и увлажнения дымовых газов.

В электрофильтрах запыленный газ движется в ка­налах, образованных осадительными электродами, меж­ду которыми расположены коронирующие электроды (рис.2.5,а).

К электро­дам подводится постоянный ток высокого напряжения (плюс - к осадительным электродам, минус - к коронирующим).

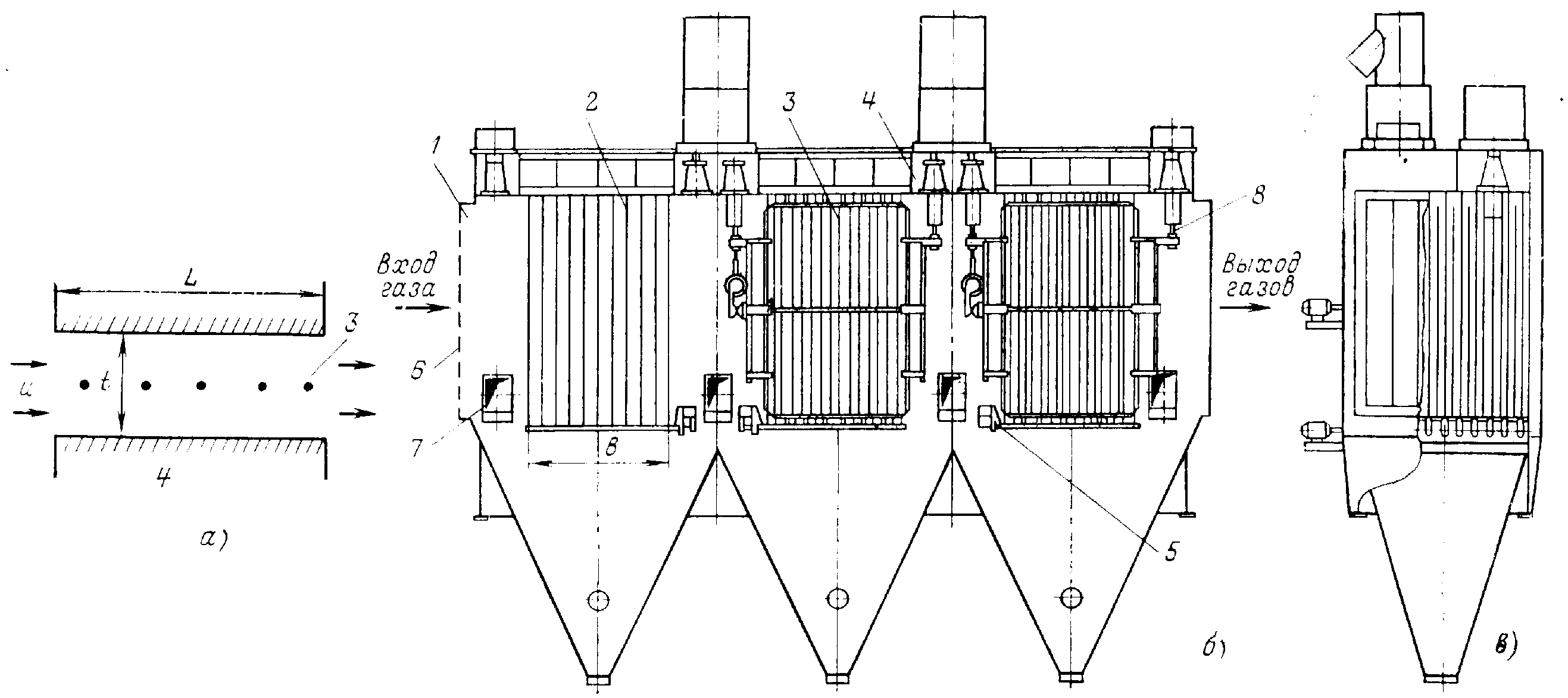
При достаточной напряженности электро­статического поля происходит ионизация дымовых газов и частички золы получают заряд, обычно отрицатель­ный.

Под действием электростатических сил частички осаждаются на осадительном электроде.

С по­мощью ударного механизма происходит встряхивание электродов, и частички, отделившиеся от них под дей­ствием силы тяжести, попадают в бункер.

Электрофильтр современной конструкции ти­па УГ (универсальный горизонтальный) показан на рис.2.5,б. Запыленные газы после газораспределитель­ной решетки поступают в коридоры, образованные вер­тикально висящими широкополосными осадительными электродами С- образной формы (рис.2.5,б). к которым подведен выпрямленный ток высокого напряжения.

Ко­ронирующие электроды представляют собой профильные ленточные элементы   
с штампованными иглами, укреп­ленные в специальной рамке.



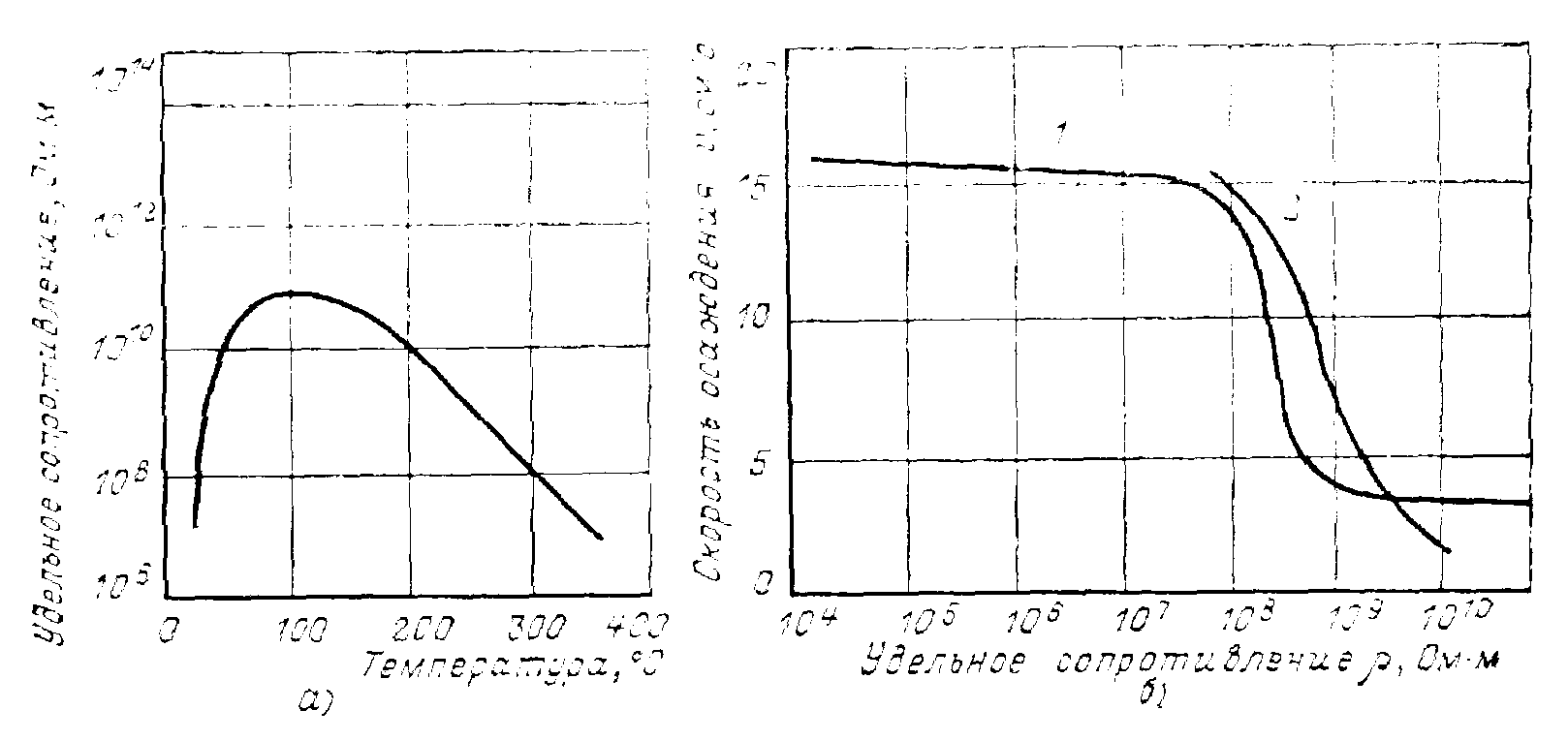
*Рис.2.5.* Электрофильтры:  
 *а* – принципиальная схема канала; *б* – электрофильтр типа УГ; *в* – коронирующие и осадительные элементы электрофильтра УГ;   
 1 – корпус; 2 – электрод осадительный; 3 – электрод коронирующий; 4 – механизм встряхивания коронирующих электродов;   
 5 - механизм встряхивания осадительных электродов; 6 – газораспределительная решетка; 7 – бункер для золы; 8 - изолятор

Для удаления осевшей на электродах золы предусмотрены встряхивающие устрой­ства в виде молотков, ударяющих по наковальням элек­тродов. Осевшая зола опадает в бункеры и затем через гидравлические затворы направляется в систему гидро­золоудаления.

Степень осаждения золы определяется двумя факторами - ско­ростью дрейфа частиц *v* и удельной поверхностью осаждения *f.* Увеличивая *f,* можно получить высокую степень улавливания, однако это связано с большими расходами металла и увеличением габаритов электро­фильтров.

Скорость дрейфа *v* определяется в основном элек­трическими характеристиками электрофильтра и пыле-газового потока.

Теоретически скорость дрейфа пропорцио­нальна произведению напряженностей полей зарядки и осаждения и диаметру частицы (влияние остальных факторов менее существенно). Однако определить тео­ретическим путем эти величины затруднительно, из-за чего расчет фильтров выражению возмо­жен при наличии опытных данных по электрическим ха­рактеристикам.



Основными факторами, определяющими скорость дрейфа, являются электрические свойства пылегазового потока и, в частности электрическое сопротивление зо­лы. На рис.2.6,а показано изменение скорости дрейфа *v* от удельного сопротивления *ρ*. В области *ρ* = 108 - 109 Ом-м происходит резкое падение скорости дрейфа, возникают явление так называемой «обратной короны» и вторичный унос уже осажденной пыли. Наибольшее электрическое сопротивление имеет зола углей с малым содержанием горючих в уносе, малым содержанием серы и влаги в топливе. К углям, зола которых имеет высо­кое электрическое сопротивление, относятся экибастузский и кузнецкий каменные угли. Для повышения эф­фективности их улавливания могут применяться конди­ционирующие присадки, улучшающие электрические свойства золы. Одним из методов снижения электрического сопротивления золы является изменение темпера­туры газов в электрофильтре.

*Рис.2.6.* Влияние удельного сопротивления летучей золы на работу электрофильтра:

*а* - зависимость удельного сопротивления летучей золы при работе электро­фильтра   
от температуры; *б* - зависимость скорости осаждения от удельного сопротивления пыли;   
1 - цементная пыль; 2 - зола уноса котлов.

Так, на рис.2.6,б показано, что наибольшее электри­ческое сопротивление имеет зола при температурах око­ло 100-200°С, характерных для котлов. Снижение или повышение этой температуры может способствовать существенному улучшению степени улавливания золы.

Для повышения эффективности улавливания золы с высоким удельным электрическим сопротивлением разработан ряд способов. Одним из таких способов является установка электрофильтров до воздухоподо­гревателей на газах температурой 350-400°С (исполь­зование правой ветви, рис.2.6,а). Однако это связано с рядом трудностей - увеличением размеров электро­фильтров в связи с повышением объемов газа примерно в 1,5 раза, дополнительными тепловыми потерями с го­рячей золой, усложнением конструкции элементов элек­трофильтра при высоких температурах и др.

Значительный эффект может быть достигнут за счет введения в дымовые газы присадок некоторых химиче­ских веществ, уменьшающих электрическое сопротивле­ние золы. В качестве таких добавок применяются сер­ный ангидрид SO3, аммиак, углекислый натрий Na2CO3. Этот способ, несмотря на значительное повышение сте­пени улавливания, не получил широкого распростране­ния в связи с эксплуатационными трудностями и затра­тами, связанными с получением, хране­нием и подачей химических веществ в газоходы ТЭС.

Одним из эффективных путей повышения степени улавливания золы с неблагоприятными электрофизиче­скими свойствами является использование температурно-влажностного кондиционирования. При добавлении влаги происходит снижение температуры газов, повыша­ется рабочее напряжение на коронирующих электродах благодаря увеличению диэлектрической прочности ды­мовых газов.

Для высокозольного экибастузского угля применя­ется установка, состоящая из включенного последова­тельно мокрого скруббера, предназначенного для предварительной очистки газов и температурно-влажностного кондиционирования, и многопольного электро­фильтра.

В мокром скруббере происходит увеличение влаж­ности газов и снижение температуры с 130 до 95°С. Степень очистки газов от золы в этой ступени составляет около 85%. Кондиционированный и частично очищен­ный газ поступает в электрофильтр, где происходит бо­лее эффективное улавливание остальной золы в элек­трическом поле без образования обратной короны. При этом общая степень улавливания золы может достиг­нуть 99—99,5%.

На степень улавливания золы большое влияние ока­зывает равномерность распределения поля скоростей дымовых газов по сечению электрофильтра. Равномер­ность потока оценивается с помощью степени заполне­ния объема электрофильтра, определяемой испыта­ниями на моделях электрофильтра с примыкающими к нему участками тракта.

Степень заполнения объема определяется по выражению

  (2.13)

где *u*i *-* скорость газа в элементарной площадке элек­трофильтра; *п -* число равновеликих элементарных пло­щадок в поперечном сечении электрофильтра.

Величина *т* связана со степенью уноса золы по выражению

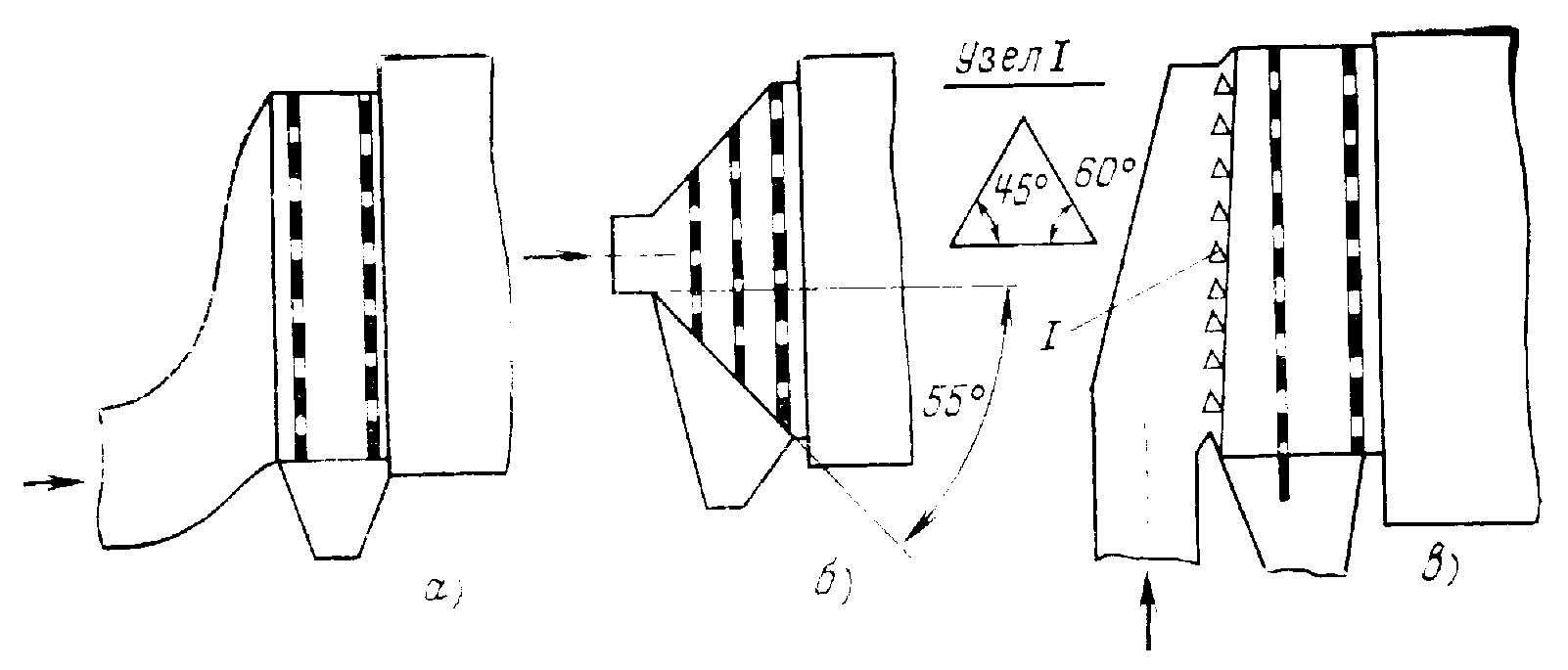
 (2.14)

где *ε*р - степень уноса при равномерном поле; *ε* - сте­пень уноса при поле скоростей, соответствующая степени заполнения объема *т.*

Степень заполнения объема электрофильтра за­висит от принятой компоновки газового тракта на участке воздухоподогреватель — электрофильтр — дымо­сос.

Обеспечение эффективного газораспределения зави­сит от правильного выбора числа и расположения реге­неративных воздухоподогревателей и дымососов. Жела­тельно, чтобы число РВП, корпусов электрофильтра и дымососов было одинаковым. Необходимо обеспечить достаточные расстояния между РВП, электрофильтром и дымососом, целесообразно также их размещение в плане по одной оси.

Особое значение имеет рациональное выполнение га­зораспределительных устройств на входе в электро­фильтр. На рис.2.7 приведены газораспределительные устройства и их характеристики.



*Рис.2.7.* Газораспределительные устройства электрофильтров:  
 *а* - две плоские перфорированные решетки (*m* = 0,7-0,75);   
 *б* - три плоские ре­шетки в симметричном диффузоре (*m* = 0,9-0,94);   
 *в* - одна объемная решетка и одна-две плоские решетки (*m* = 0,96-0,98).