

Федеральное агентство по образованию РФ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Красноярский государственный технический университет

Е.А. Бойко

ЗОЛУЛАЛИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

(учебное пособие)

Красноярск 2005

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Человек и окружающая среда	3
1.1. Влияние выбросов ТЭС на организм человека	3
1.2. Классификация золоуловителей	5
2. Циклоны	6
2.1. Конструкция и принцип работы циклонного аппарата	6
2.2. Расчет циклонов	9
2.3. Пример расчета циклона	14
3. Батарейные циклоны	16
3.1. Конструкция батарейных циклонов	16
3.2. Расчет батарейных циклонов	21
4. Мокрые способы золоулавливания. Аппараты мокрой газоочистки	24
4.1. Принцип работы мокрых золоуловителей	24
4.2. Скрубберы с насадкой	27
4.3. Центробежные скрубберы	29
4.4. Центробежный скруббер ВТИ (ЦС ВТИ)	31
4.5. Мокрый золоуловитель типа МП ВТИ	32
4.6. Расчет скруббера ВТИ	37
4.7. Скоростные турбулентные золоуловители	39
4.8. Барботажные и пенные пылеуловители	46
5. Электрофильтры	49
5.1. Конструкция и принцип работы электрофильтров	49
5.2. Расчет электрофильтров	58
6. Жалюзийные золоуловители	64
6.1. Конструкция и принцип действия жалюзийного золоуловителя	64
6.2. Жалюзийные золоуловители для очистки дымовых газов при высоких температурах	67
6.3. Схема расчета жалюзийного золоуловителя	69
7. Тканевые фильтры	70
7.1. Конструкция и принцип действия тканевых фильтров	70
7.2. Методика расчета тканевого фильтра	72
8. Акустическая коагуляция взвешенных частиц	73
9. Вклад Сибирского филиала ВТИ в совершенствование золоулавливающих устройств	74
10. Области применения газоочистительных аппаратов раз- личных конструкций	78
Литература	80

1. ЧЕЛОВЕК И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

1.1. Влияние выбросов ТЭС на организм человека

Биосфера представляет собой очень небольшую часть нашей планеты. К биосфере относятся: прилегающий к поверхности земли слой атмосферы, верхний слой почвы и верхний слой воды в реках, океанах и озерах. Между биосферой, литосферой, гидросферой и атмосферой имеет место непрерывный круговорот веществ и энергии. Человек является частью природы, и поэтому его жизнь очень тесно связана с окружающей средой.

До начала развития промышленности существовало установившееся равновесие между природой и человеком. У человека в то время было мало средств для вредного влияния на природу. С развитием промышленности у человека в руках оказался очень мощный рычаг, которым он начал пользоваться для осуществления своих целей, не задумываясь о том, как это воздействует на окружающую среду. Позднее, когда загрязнение окружающей среды в промышленных центрах стало угрожающим, начали издаваться соответствующие законы по охране окружающей среды. Выбросы электростанций, различных промышленных предприятий, распашка земель, горные работы и т. д. увеличивают запыленность атмосферы. Наибольший «вклад» в запыленность вносят электростанции. Так, в 1991 г. в структуре мирового производства электроэнергии, превысившего 12 трл. кВт·ч., ТЭС составили 64,1 %, АЭС – 17,3 %. В 1992 г. более 70 % угля сжигалось на ГЭС. В 1993 г. на выработку электроэнергии и тепла израсходовано около 301 млн. тонн условного топлива.

При рассмотрении воздействия ТЭС на окружающую среду принимают во внимание прежде всего выбросы тех веществ, на которые установлены ПДК (предельно допустимая концентрация в воздухе населенных мест).

В Гренландии и Антарктиде бурением удалось взять колонки льда, который послойно, год за годом скапливался там в течение 44 тысяч лет. Анализ показал, что самые древние слои льда загрязнены посторонними примесями во много раз больше, чем современные осадки в тех же местах. Оказывается, что свыше 10 тысяч лет назад вулканы загрязняли воздух значительно больше, чем отходы современной промышленной деятельности и, по-видимому, по этой причине климат тогда был гораздо суровее, чем теперь: Земля тогда пережила последний период оледенения. Мы живем в период межледникового потепления. Загрязнение атмосферы может привести к новому оледенению. Анализ показал, что определенный по загрязнению «запас» у человека есть. Древний антарктический лед грязнее современного в 100 раз. Но гренландский всего в 4 раза. (Это объясняется тем, что Гренландия ближе к современным источникам загрязнения). Так что по загрязнению «запас» атмосферы не очень велик.

Перечисленные факты говорят, что людям необходимо пересмотреть привычные отношения к планете как к неограниченному источнику ресурсов. Некоторые ученые считают, что если характер взаимодействия между природой и человеком будет таким же, как сегодня, то в следующем столетии это приведет к экологическому кризису.

Для предотвращения экологического кризиса необходима реализация комплексной программы, включающей развитие новых технологий, не загрязняющих биосферу. Нам прежде всего нужно заботиться о развитии новых энергетических направлений, которые обеспечивали бы человечество неисчерпаемым экологически чистым источником энергии, поскольку, по прогнозам МИРЭК, выбросы энергетических установок в 2000-м году составили 1,5 млрд. тонн золы. Опыт показывает, что зачастую в районах атомных электростанций находиться безопаснее, чем рядом с электростанцией, работающей на угле или нефти. Здесь исключен сброс сточных вод, загрязненных радиоактивными веществами. Сточные воды, газы и аэрозоли АЭС проходят специальную очистку перед выбросом. В результате концентрация радиоактивных веществ в районе расположения АЭС в десятки и сотни раз ниже предельно допустимых уровней.

Наличие в воздухе большого количества золы, продуктов неполного сгорания и других загрязнений наносит здоровью человека и хозяйству большой вред. Частицы пыли, попадая в лёгкие, вызывают раздражение органов дыхания, делают организм человека более восприимчивым к простудным заболеваниям. Человек при дыхании за сутки пропускает через легкие около 22 м³ воздуха. Вместе с воздухом в дыхательные органы заносится и содержащаяся в нем пыль. По наблюдениям гигиенистов, частицы пыли размером свыше 50 микрон оседают в верхних дыхательных путях; размером от 10 до 50 микрон – попадают в более глубокие дыхательные пути, но в ткань легкого заносятся редко. Пылинки размером менее 10 микрон проникают в самые глубокие отделы легких и там оседают. Частицы менее 0,1 микрон, двигаясь во время дыхания с воздухом, свободно проникают в легкие и, не оседая в них, выносятся обратно. Таким образом, наиболее опасной для организма человека является пыль размером от 0,1 до 10 микрон.

Главная масса находящихся в воздухе пылинок имеет диаметр менее 5 микрон. Большинство же существующих в настоящее время способов золоулавливания не обеспечивает достаточной очистки газов от этих фракций. Анализ дыма, выходящего из труб одной из ТЭС, проведенный работниками НИИОГАЗ, показал содержание частиц менее 5 микрон до 24 %.

Значительное влияние на условия жизни населения оказывает изменение прозрачности атмосферы. Пылевое облако, поднимаясь над городом до 7 км, рассеивает и отражает солнечные лучи. По данным М. Я. Никитина, освещенность в одном из крупных промышленных центров в среднем равнялась 60 % от максимально возможной. Среднее снижение освещенности в промышленных районах другого города достигало 40–50 %.

В запыленных и задымленных городах ультрафиолетовый спектр солнца сильно укорачивается. По данным Ленинградского научно-исследовательского сангигиенического института, уменьшение ультрафиолетовой радиации за счет аэрозолей в некоторых промышленных центрах при неудовлетворительной службе газоочистки может достигать 42 %. Наличие большого количества аэрозолей в воздухе приводит к увеличению туманных дней (поскольку мелкие взвешенные в воздухе частицы являются центрами конденсации).

Влияние всех вышеизложенных факторов: уменьшение освещенности, уменьшение ультрафиолетовой радиации и увеличение туманных дней – не может не сказаться на здоровье людей, повышая заболеваемость и снижая производительность труда.

Загрязнение воздуха наносит вред и хозяйству. Зола разносится на большое расстояние, выпадает на поля, покрывает слоем пыли листья растений, вредно влияя на них. Зола и сажа, оседая в пределах города, сильно загрязняет окружающие предметы.

С увеличением количества предприятий должны повышаться и требования к качеству очистки газов. Газоочистительные аппараты должны заменяться новыми, более эффективными. Рост потребления твердого топлива требует сегодня обеспечить степень очистки дымовых газов от летучей золы на крупных ТЭС не ниже 99–99,9 %.

1.2. Классификация золоуловителей

По принципу удаления взвешенных частиц из газового потока золоуловители можно классифицировать следующим образом.

1. Устройства, работа которых основана на использовании силы тяжести, пылевые камеры. Ввиду громоздкости и низкой эффективности в настоящее время этот способ не применяется.

2. Сухие инерционные золоуловители. (Для выделения частиц здесь используются силы инерции, центробежные силы).

3. Тканевые фильтры (используется принцип фильтрации газов через ткань).

4. Мокрые инерционные золоуловители. (Здесь кроме сил инерции и центробежных сил используется принцип пленочного и капельного улавливания жидкостью).

5. Турбулентные золоуловители с применением труб Вентури (используется укрупнение частиц в турбулентном потоке с последующим улавливанием укрупненных капель в мокром циклоне).

6. Пенные газопромыватели, использующие принцип барботажа запыленных газов через слой водяной пены.

7. Ультразвуковые коагуляторы, использующие ультразвук для укрупнения мельчайших частиц.

8. Электрофилтры, в которых происходит ионизация газа, получение частицами летучей золы электрических зарядов и перемещение в мощном электрическом поле этих частиц к осадительным электродам.

2. ЦИКЛОНЫ

2.1. Конструкция и принцип работы циклонного аппарата

Работа циклонов основана на использовании силы инерции. Основные элементы конструкции представлены на рис. 2.1. Газ поступает в патрубок со скоростью 20–25 м/с. Будучи подведен тангенциально, газ получает вращательное движение и разворачивается вниз, одновременно совершает вращательное и поступательное движение. Приблизительно можно считать, что все частицы газа движутся с постоянной угловой скоростью. Статическое давление по диаметру цилиндра непостоянно. В центре создается разрежение. Пыль, вследствие инерции, отжимается к стенкам цилиндра. Частицы, касаясь стенок, теряют скорость и выпадают из потока. По мере движения к вершине конуса внутренние слои газа поворачивают к оси циклона и начинают двигаться в сторону выхлопной трубы, образуя по центру трубы восходящий вращающийся вихрь. Пыль осаждается в нижней части, входя в золоспускную трубу. Работа циклона может происходить при любом его геометрическом положении.

Вышеизложенная теория не дает исчерпывающие указания о наилучшей конструкции циклонных аппаратов, о влиянии изменения конструктивных форм на коэффициент полезного действия аппарата. Поэтому большинство данных опытные.

Дисперсионный состав пыли и ее удельный вес влияют на КПД улавливания. Чем крупнее частицы, тем лучше они улавливаются.

В табл. 2.1 приведен фракционный КПД конических циклонов при сопротивлении $P = 500$ Па.

Таблица 2.1

Фракционный КПД конических циклонов

Диаметр циклона, мм	Размер частиц, мк					
	10	20	30	40	60	80
300	85	95	98	99	100	–
500	81	93	96	98	99	100

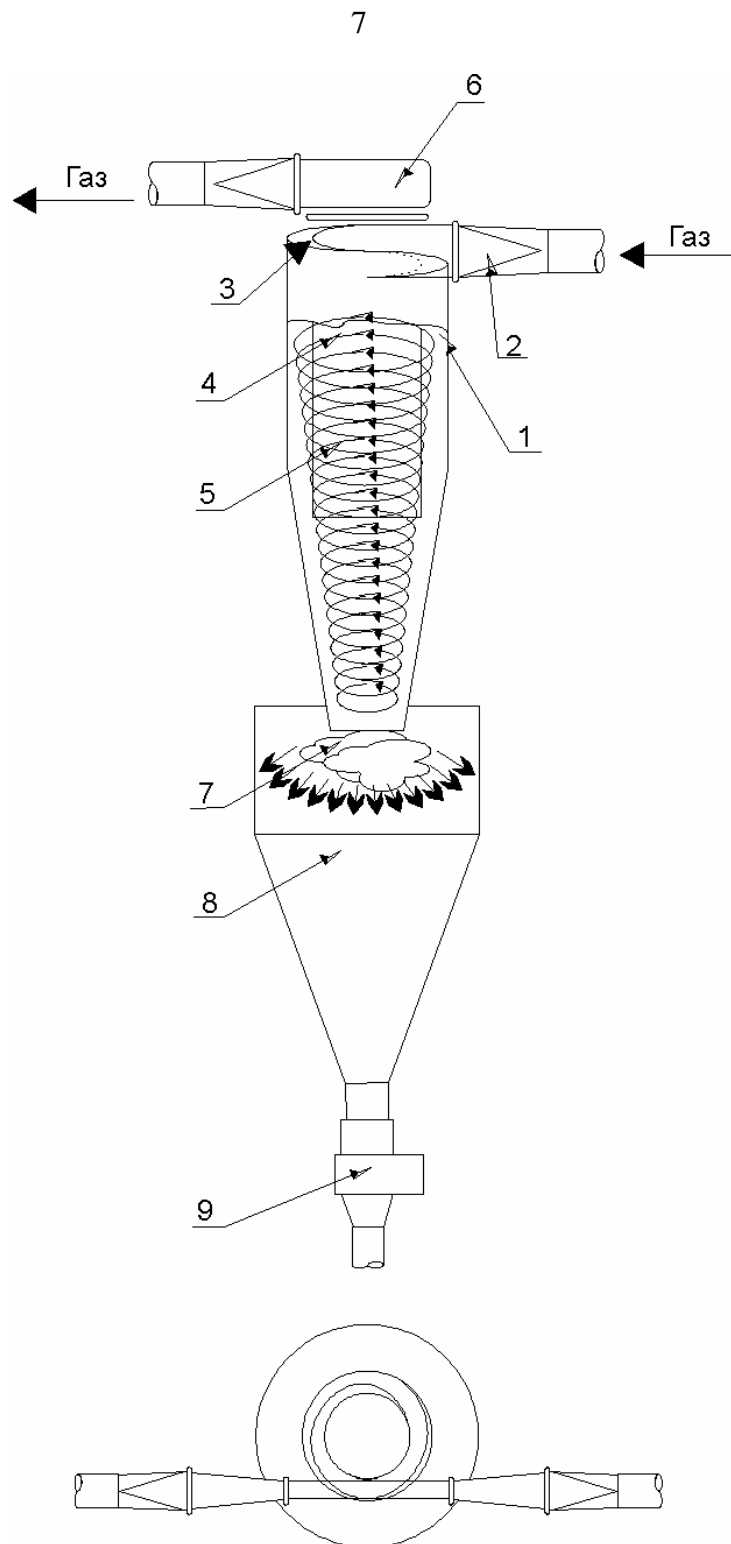


Рис. 2.1. Устройство циклона и схема движения в нем газового потока: 1 – цилиндрическая часть аппарата; 2 – входной патрубок с осью, перпендикулярной оси цилиндра, присоединенный тангенциально к цилиндрической части аппарата; 3 – крышка, закрывающая верхнюю часть цилиндра; 4 – выхлопная труба; 5 – коническая часть корпуса; 6 – выходная улитка; 7 – пылевывпускное отверстие; 8 – бункер; 9 – пылевой затвор

В обычных циклонах с увеличением концентрации степень очистки повышается. Так по опытам Кирпичева Е. Ф. с увеличением концентрации с 10

до 75 г/м^3 КПД увеличивается с 65 до 70 %. Концентрация пыли может колебаться в широких пределах. Предельно допустимые концентрации зависят от слипаемости пыли, формы и строения ее частиц, влажности, температуры и давления транспортируемого газа, а также размеров циклона и, в первую очередь, размеров пылевыпускного патрубка. Предельные значения концентрации для малослипающейся пыли представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Предельные значения концентрации
для малослипающейся пыли

Диаметр циклона, мм	300	400	500	600	700	800
Предельная концентрация, г/м^3	400	600	800	1000	1200	1500

Для слипающейся и сильно слипающейся пыли, до накопления достаточного количества данных, указанные значения предельно допустимых концентраций должны быть уменьшены на 25–50 %.

Температура и вязкость газа влияют на КПД циклона очень незначительно. С увеличением вязкости КПД падает. При снижении температуры КПД также снижается. Так, при снижении температуры с 360 до $150 \text{ }^\circ\text{C}$ КПД падает с 77,7 % до 75 %.

Циклоны, изготавливаемые из обычных сталей, могут быть применены для температуры не выше $400 \text{ }^\circ\text{C}$, а с литыми чугунными корпусами – до $500 \text{ }^\circ\text{C}$. Циклоны из специальных сталей могут использоваться до температуры $750 \text{ }^\circ\text{C}$, а в случае наличия при этом жаростойких внутренних покрытий соответствующей толщины – до $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ и больше.

Влажность газов сильно влияет на очистку от пыли, в особенности, если возможна конденсация влаги на поверхности частиц. Для устранения отложения пыли на стенках циклона температура за циклоном должна быть на $15\text{--}20 \text{ }^\circ\text{C}$ выше точки росы.

Скорость поступления газов сильно влияет на КПД циклона. Теоретически с увеличением скорости КПД должен расти. Практически рост возможен только до определенного предела, а затем начинается падение. Наилучшая скорость от 20 до 29 м/с.

Число оборотов газового потока в циклоне теоретически в значительной мере должно влиять на КПД, которое должно расти с увеличением числа оборотов. Практически это не подтверждено, видимо, вследствие возмущений в газовом потоке.

Абсолютные размеры циклона, вне зависимости от его конструктивных особенностей, существенно влияют на степень очистки газа. При геометрически подобном уменьшении размеров циклона КПД растет, при увеличении – падает. Исходя из принципа улавливания наиболее тонкой пыли, рекомендуется применять единичные циклоны и блоки параллельно включенных одинаковых циклонов диаметром до 800 мм, но не более 1000 мм.

Для малых расходов газа диаметр циклона может быть принят менее 300 мм. При уменьшении размеров уменьшается ширина входного патрубка, а следовательно, и расстояние, которое частицы должны пройти, чтобы достигнуть стенки; с уменьшением диаметра цилиндра увеличивается угловая скорость газов, а следовательно, увеличиваются и силы, действующие на частички. Это свойство используется при проектировании мультициклонов.

Экспериментально установлено, что при уменьшении отношения диаметра выхлопной трубы к диаметру цилиндрической части циклона КПД растет, но растет и сопротивление циклона. Большей частью это отношение поддерживается от 0,55 до 0,65. Опытами установлено оптимальное отношение диаметра пылеотводящего патрубка к диаметру циклона от 0,16 до 0,18.

Уменьшение угла раскрытия конуса несколько увеличивает степень очистки газа. Так, при изменении угла с 60 до 30° КПД изменяется от 74 до 78 %.

При увеличении высоты цилиндрической части циклона степень очистки газов незначительно возрастает. Своевременный отвод из циклона уловленного уноса – непереносимое условие нормальной работы аппарата.

Неплотности в золопускной системе снижают КПД. Подсос воздуха 10–15% к количеству очищаемого газа сведет к нулю эффект работы аппарата.

Максимальная часовая производительность единичных циклонов рекомендуемых диаметров, при проходе газов с плотностью $\rho = 1,32 \text{ кг/м}^3$ и поддержании гидравлических сопротивлений 500–850 Па приведена в табл. 2.3.

Таблица 2.3

**Максимальная тяговая производительность
единичных циклонов**

Диаметр циклона, мм	300	400	500	600	700	800
Q , м/ч, при $P = 500 \text{ Па}$	650	1200	1850	2650	3600	4700
Q , м/ч, при $P = 850 \text{ Па}$	850	1550	2400	3450	4700	6200

При компоновке в блоках эти циклоны могут быть использованы на производительность (по газам) до 50000 – 60000 м/ч.

2.2. Расчет циклонов

Величина центробежной силы, выбрасывающей частицу из вращающегося потока к стенкам аппарата, выражается формулой

$$P_g = \frac{m \cdot W^2}{R},$$

где W – скорость газового потока в циклоне, принимаемая равной скорости газов во входном патрубке циклона, м/с; R – расстояние от центра вращения газового потока (оси циклона) до частицы, м; m – масса частицы, кг.

Под действием центробежной силы частица движется в радиальном направлении к стенке циклона со скоростью W_p . Этому движению газовая среда оказывает сопротивление, величину которого определяют по формуле

$$P = 3\rho \cdot W_p \cdot dm.$$

При входе в циклон центробежная сила значительно превышает силы сопротивления среды P , так как начальное значение скорости пылинки в радиальном направлении было равно нулю. Но по мере разрастания этой скорости, практически через сотые доли секунды, эти силы становятся равными. С этого момента частица продолжает двигаться в радиальном направлении с постоянной скоростью, которую определяют из равенства

$$\frac{mW^2}{R} = 3\rho W_p dm.$$

Заметив, что $m = \frac{\rho d^3}{6} r$, получим

$$W_p = \frac{d^2 W^2 r}{18 R m},$$

где d – диаметр пылинки; ρ – плотность пылинки, кг/м³; m – вязкость газовой среды, Н·с/м.

Наиболее длинный путь в радиальном направлении будет у той пылинки, которая при входе в циклон находилась около внутренней (выходной) трубы. Этот путь равен радиусу циклона, а R – радиус выходной трубы. Время, необходимое для того, чтобы такая пылинка успела пройти путь $R_1 - R_2$:

$$t = \frac{R_1 - R_2}{W_p}.$$

Заметим, что величина R переменная, в среднем ее можно принять как

$$\frac{R_1 - R_2}{2}.$$

Подставив в формулу значение W_p , найдем

$$t = \frac{R_1 - R_2}{W_p} = \frac{(R_2 - R_1) \cdot 18 \cdot (R_2 + R_1) m}{d^2 W^2 r} = \frac{9m(R_2^2 - R_1^2)}{d^2 W^2 r}.$$

Для получения полноценной версии необходимо обращаться по адресу...



«Лаборатория информационных технологий в энергетике»,
Кафедра «Тепловые электрические станции»
Красноярского государственного технического университета
e-mail: boiko@krgtu.ru
р.т.: (8-3912) 49-72-99, 49-74-63
660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 26
Красноярский государственный технический университет