# ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ РАБОТЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

# Лекции для студентов специальности «Промышленная Теплоэнергетика» дневное отделение ЗГИА Кафедра «Теплоэнергетика»

# Запорожье, 2005

# Лекция 1

# ВВЕДЕНИЕ

Вопросам защиты окружающей среды в последнее время уделяется огромное внимание. Причины такого интереса к этим проблемам для нас не являются секретом.

Общий валовый выброс загрязнений атмосферы распределяется между различными отраслями промышленности примерно следующим образом

#### Таблица В-1

**Выбросы загрязнений в атмосферу**

|  |  |
| --- | --- |
| Отрасль промышленности | Поступление вредных выбросов, % |
| Тепловые электростанции | 27,0 |
| Черная металлургия | 24,3 |
| Цветная металлургия | 10,5 |
| Нефтедобыча и нефтехимия | 15,5 |
| Автомобильный транспорт | 13,3 |
| Промышленность строительных материалов | 8,1 |
| Химическая промышленность | 1,3 |

Эти цифры охватывают твердые, жидкие и газообразные выбросы. Но к ним необходимо еще прибавить и тепловые выбросы, значительно загрязняющие и негативно влияющие на окружающую среду.

Учитывая нашу специальность – Промышленная теплоэнергетика,- а также существенный долю загрязнений, поступающих в атмосферу от энергетических объектов,   
в данном курсе будем рассмотривать вопросы окружающей среды при работе теплоэнергетических систем.

Под теплоэнергетическими системами для определенности будем понимать, подразумевать тепловые и атомные электростанции.

Эти объекты оказывают сущест­венное влияние на окружающую среду и в районе их расположения, и на общее состояние биосферы. Их взаимодействие с внешней средой опре­деляется выбросами в атмосферу дымовых газов, тепловыми выбросами, радиациоными излучениями, а также выбросами загрязненных сточ­ных вод.

Вопросы защиты окружающей среды, которые мы будем рассматривать, в значительной мере типичны и могут быть отнесены к другим производственным объектам, потребляющим энергетические ресурсы в металлургии, машиностроении, химической промышленности, коммунальном хозяйстве, транспорте и т.д.

Специфические задачи защиты окружающей среды в перечисленных и других областях производственной деятельности человека при необходимости можно будет изучить самостоятельно по многочисленной специальной литературе.

При изучении курса как основные будем использовать следующие источники:  
  
1. *Рихтер Л.А., Волков Э.П., Покровский В.Н.* Охрана водного и воздушного бассейнов от   
 выбросов ТЭС.- М.:Энергоиздат, 1981.-296 с.  
2. *Русанов А.А., Урбах И.И., Анастасиади А.П.* Очистка дымовых газов в промышленной энергетике.- М.:Энергия, 1969.- 456 с.   
3. *Уорк К., Уорнер С.* Загрязнение воздуха. Источники и контроль.- М.:Мир,1980.- 539 с  
4. *Старк С.Б.* Пылеулавливание и очистка газов в металлургии.- М.:Металлургия,1977.- 328 с.  
5.

# 1. ВЫБРОСЫ ТЭС В АТМОСФЕРУ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

## 1.1. СОДЕРЖАНИЕ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ В ТОПЛИВЕ И ДЫМОВЫХ ГАЗАХ

Рабочая масса органического топлива состоит из углерода Cр, водорода Hp, кислорода OР, азота NР, серы SР, влаги WР и золы АР.

В результате полного сгорания топлива образуются угле­кислый газ СO2, водяные пары Н2О, азот N2, окислы серы SO2 (сернистый газ), SO3 (серный ангидрид) и зола.   
Из перечисленных составляющих к числу токсичных от­носятся окислы серы SO2 и SO3 и зола. При высоких температурах в ядре факела происходит частичное окисление азо­та воздуха и топлива с образованием окислов азота NO (окись азота) и NO2 (двуокись азота).

При неполном сгорании топлива в топках могут образовываться окись углерода СО, углеводоро­ды СН4, C2H4 и др., а также канцерогенные вещества. Продукты неполного сгорания являются вредны­ми, но при современной технике сжигания их образование можно исключить или свести к минимуму.

Для оценки влияния энергетического объекта на окружающую среду основным по­казателем является выброс вредного ве­щества в единицу времени.

При расчете выброса твердых частиц в атмосферу учитывают, что наряду с золой в атмосферу поступают несгоревшие частицы горючей массы топли­ва.

Выброс золы в атмосферу в единицу времени с учетом улавливания ее в золоуловителе определяют по формуле  
 .103 , г/с, (1.1)

где В - расход топлива, кг/с;   
 *η -* степень улавливания твердых частиц в золоуловителях.

Доля твердых частиц, уносимых из топки, зависит от типа топки и может быть оценена по следующим дан­ным:

* Камеры с твердым шлакоудалением аун =0,95
* Топки с жидким шлакоудалением аун =0,6 - 0,8
* Горизонтальные циклонные топки аун =0,1 - 0,15

Наибольшую зольность имеют горючие сланцы и бу­рые угли, а также некоторые сорта каменных углей (на­пример, экибастузские). Жидкое топливо имеет очень небольшую зольность; Природный газ является беззоль­ным топливом.

Основное количество серы (около 99%) сгорает до SО2, поэтому выброс ее в атмосферу определяют именно по этому окислу:

, (1.2)

где - доля окислов серы, улавливаемых летучей золой в газо­ходах котла;   
 - доля окислов серы, улавливаемых в золоуловителе.

Коэффициент 2 в последней формуле учиты­вает отношение молекулярных масс   
SO2 (64) и S (32).

Долю окислов серы, улавливаемых летучей золой в газоходах, принимают из следующих данных

|  |  |
| --- | --- |
| Топливо |  |
| Горючие сланцы | 0,5 |
| Канско-ачинский бурый уголь | 0,2 |
| Торф | 0,15 |
| Экибастузский каменный уголь | 0,02 |
| Прочие твердые топлива | 0,10 |
| Мазут | 0,02 |

В сухих золоуловителях (циклонах, электрофильтрах) окислы серы практически не улавливаются (= 0).   
 В мокрых золоуловителях при нейтральной орошающей воде = 0,015,   
 для щелочной воды (щелочность 5-10 мг-экв/л)  = 0,02 - 0,03.

Выброс окислов азота рассчитывают по NО2, хотя в топке основная часть окислов азота находится в виде NO. Секундный выброс NО2 определя­ется по формуле

, г/с, (1.3)  
где  - безразмерный поправочный коэффициент, учи­тывающий влияние на выход   
 окислов азота качества (содержание Nг) и способа шлакозолоудаления   
 (принимается по табл.1.1);   
 - коэф­фициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих  
 газов в зависимости от условий подачи их в топку (табл.1.2);   
 r *-* степень рециркуляции инертных газов (дымовых газов, сушильного агента)   
 в процентах расхода дутьевого воздуха;   
 - коэффициент, учитывающий конструкцию горелок: для вихревых горелок =1;   
 для прямоточных = 0,85;   
 k -коэффициент, характеризующий выход окислов азота на 1 т сожженного   
 условного топлива, кг/т.

#### Таблица 1.1

**Значение коэффициента** 

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Топливо | Содержание азота Nг, % |  | |
| Природный газ  Мазут при коэффициенте избытка воздуха  в топочной камере:  αт ≥1,05   αт < 1,05 | -   0,3—0,6  0,3—0,6 | 0,85  0,8 0,7 | |
| Твердое топливо | - | При твер­дом шлако-удалении | При жид-ком шлако-удалении |
| Угли: ангренский Б2, березовский Б2, назаровский Б2, ирша-бородинский, харанорский Б1, реттиховский Б1, чихезский Б1, нерюнгринский СС, донецкий АШ, башкирский Б1, бабаевский, канско-ачинский, ургальский, итатский, горючие сланцы | <1.0 | 0,55 | 0,8 |
| Угли: веселовский, богословский, черемховский, сучанский, нижне-аркагалинский, верхне-арка-галинский, анадырский, донецкий Т, ПАШ, карагандинский ПрП, подмосковный Б2, львовско- волынский Г, егоршинский ПА, гусиноозерский, халбольэжинский, райчихинский, куучиненский СС | 1-1,4 | 0,7 | 1,0 |
| Угли: донецкий Д, Г, ГСШ, ПрПр, экибастузский СС, печорский (воркутинский Ж), бикинский Б2, азейский БЗ, кузнецкий ГРОК, южно-сахалинский | 1,4-2,0 | 1,0 | 1,4 |
| Угли: кузнецкий Д, Г, 2СС, 1СС, интинский Д, печорский, томь-усинский, фрезерный торф | >2,0 | 1,4 | 2,0 |

*Та6лица 1.2*

**Значение коэффициента** β2 **при рециркуляции**  0 < r ≤ 25%

|  |  |
| --- | --- |
| Способ ввода в топку газов рециркуляции | Β2 |
| Газ – мазут при вводе:   в под топки (при расположении горелок на вертикальных экранах)   через шлицы под горелками   по наружному каналу горелок   в воздушное дутье   в рассечку двух воздушных потоков | 0,002 0,015  0,020  0,025  0,030 |
| Твердое топливо (при tф> 1400 °С) при вводе:   в первичную аэросмесь   во вторичный воздух | 0,010  0,005 |

Для котлов паропроизводительностью свыше 70 т/ч при сжигании газа и мазута во всем диапазоне нагру­зок, а также для котлов, сжигающих твердое топливо при tф ≥ 1500°С и при нагрузках выше 75% номиналь­ной

, (1.4)  
где D и Dф - номинальная и фактическая паропроизводительности котла или его корпуса, т/ч.

Для котлов паропроизводительностью менее 70 т/ч  
 , (1.5)

Для водогрейных котлов β1 = l, а коэффициент k опре­деляется по формуле

, (1.6)  
где Q и Qф - номинальная и фактиче­ская тепловая производительность котла, Гкал/ч.

При сжигании твердого топлива с нагрузками котла ниже 75% номинальной в формулы (1.5), (1.6) вме­сто Dф, Qф подставляются 0,75D и 0,75Q.

При сжигании твердого топлива с tф< 1500°С во всем диапазоне нагрузок вместо   
Dф, Qф подставляются D и Q.

При одновременном сжигании на котле двух видов топлива с расходом одного из них не менее 10% по теплу значение коэффициента β1 должно приниматься по преобладающему виду топлива.

В остальных случаях коэффициент β1 определяется по формуле

, (1.7)

где соответствуют значе­ниям коэффициента и расхода каждого из видов топлива.

*В последнее время серьезное внимание привлекла проблема выбросов канцерогенных веществ, образующихся при неполном сго­рании топлива. Самыми распространенными из них и интенсивно воз­действующими на человека являются полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и наиболее активный из них—бенз(а)пирен. Максимальное количество бенз(а)пирена образуется при температуре 700-800°С в условиях нехватки воздуха для полного сгорания топлива.*

*Содер­жание этого соединения в дымовых выбросах обычно не более 4,2 мкг/100 м3. Однако при неправильном сжигании или не­совершенной конструкции топки количество выбрасываемого бенз(а)пирена может увеличиться:   
 в 50 раз при рабо­те на мазуте   
 в 10 раз при работе на газе.*

Глав­ным средством борьбы с загрязнением атмосферного воздуха кан­церогенными углеводородами является обеспечение максимальной полноты сгорания топлива.

## 1.2. ВЛИЯНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ТЭС НА ЧЕЛОВЕКА И ПРИРОДУ

Выбрасываемые в атмосферу токсичные вещества оказывают вредное воз­действие на весь комплекс живой природы.

В атмосферу попадают выбросы не только тепловых электростанций, но и других промышленных предприя­тий, а также транспорта и других источников, связанных с деятельностью че­ловека.

Установлено (табл.1.3) , что мас­штабы поступления в атмосферу компонентов естествен­ного и промышленного происхождения в ряде случаев близки.

#### Таблица 1.3

**Поступление загрязнений в атмосферу Земли, т/год**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Загрязнитель | Природный компонент | Индустриальный компонент |
| СО2  СО  SО2  NОx   Пыль | 7-1010  1,42.108 1,4.109 (0,77—1,2).109 | 1,5.109 2.108 1,03.108 6,5.107 (0,1-0,2).109 |

Промыш­ленное поступление в атмосферу некоторых компонентов хотя и уступает по масштабам естественному, но все же имеет большее значе­ние, так как создает загрязнение воздуха в районах с высокой концентрацией населения. Поэтому промышленное загрязнение атмосферы на единицу площади Земли (и в основном для населенных мест), как правило, превосходит тако­вое для природных примесей.

Воздействие выбросов рассматривается в двух аспектах:

* для отдельного участка поверхности Зем­ли в определенный отрезок времени (локальное воздей­ствие);
* общее воздействие на биосферу с учетом на­растающих темпов развития промышленности (глобаль­ное воздействие).

Воздействие вредностей ТЭС рассматривают как **локальное** в районе, который при высоких дымовых трубах оценивается в окружности диаметром 20 - 50 км.

Токсич­ные вещества, выбрасываемые в атмосферу, воздей­ствуют на растения, животный мир и людей, а также на строительные конструкции, здания и сооружения.

Наиболее чувствительными к содержанию SO2 явля­ются растения. Токсичное воздействие этого вещества связано с по­вреждением листьев или хвои из-за разру­шения хлорофилла. Причем лиственные растения, ежегодно сбрасывающие листву, менее под­вержены действию SO2.

Установлено, что изменения в жизнедеятельности листвен­ных деревьев начинают ощущаться при концентрации SO2 более 0,5 - 1 мг/м3 , в то время как у хвойных уменьшение интенсивности фотосинтеза и медленное усыхание деревьев наблюдается уже при содержании сернистого газа от 0,08 до 0,23 мг/м3, а при содержании SO2 от 0,23 до 0,32 мг/м3 происходит заметное нарушение фотосинтеза и дыхания хвои, что вызывает усыхание сосны за 2 - 3 года.

Неблагоприятное воздействие атмосферных загрязнений на людей исследовано еще недостаточно полно. Наиболее подробные данные накоплены о влиянии взвешенных веществ и двуокиси серы.

Первым отрицательным воздействием ат­мосферных загрязнений на людей являются так назы­ваемые токсические туманы, возникающие при резком возра­стании концентрации атмосферных загрязнений и небла­гоприятных метеорологических условиях.

Второе проявление действия токсических веществ, загрязняющих атмосферу, связано с хроническими не­специфическими заболеваниями. Среди этих заболева­ний существенное значение приобретают атеросклероз и связанные с ним коронарные и дегенеративные забо­левания сердца, хронический бронхит, эмфизема, брон­хиальная астма и пр. При этом во многих исследова­ниях присутствует так называемый «городской гради­ент» при относительно низких показателях заболевае­мости сельского населения.

Комитет Всемирной организации здраво­охранения **(ВОЗ)** на основе проведенных исследований установил взаимосвязь между уровнем загрязнений атмосферного воздуха и их воздействия на людей (табл.1.4).

*Таблица 1.4*

**Влияние загрязнений воздуха на здоровье и условия жизни людей**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Загрязнение | Повышение смертности и обра­щаемость в боль­ницы | Ухудшение состояния пациентов с легочными забо­леваниями | Ухудшение дыхательных симптомов | Изменение видимости и дискомфорт |
| SO2, мг/м3  Взвешенные части­цы, мг/м3 | 0,5\* 0,5\* | 0,5 - 0,25\*  0,25\* | 0,1\*\* 0,1\*\* | 0,08\*\* 0,08\*\* |

\* - В течение суток.

\*\* - Среднегодовое.

В качестве загрязнителей в окружающую среду по­ступают также различные окислы азота. Они ток­сичны для человека, обладают резко выражен­ным раздражающим действием, особенно на слизистую оболочку глаза. Окислы азота плохо растворимы в жид­ких средах, поэтому они глубоко прони­кают в легкие, вызывая их повреждения.

Экспериментальные данные свидетельствуют о высокой биологической активности окислов азота.

Исследованиями, выполненными в различных стра­нах, показано, что в районах, загрязненных NOx , у людей снижаются дыхательные функции, повышается респи­раторная заболеваемость, обнаруживаются изменения в крови.

Двуокись азота в концентрации 4 - 6 мг/м3 вызывает острое повреждение растений. Длительное воздействие NO2 при концентрации ниже 2 мг/м3 приводит к хлорозу растений. Более низкие концентрации, не вызывая види­мого вреда, снижают их рост.

Окислы азота, поглощая естественную радиацию как в ультрафиолетовой, так и в видимой части спектра, снижают прозрачность атмосферы и способствуют обра­зованию фотохимического тумана - смога.

В настоящее время наметились два основных мето­дологических подхода в области борьбы с загрязнением атмосферного воздуха.

* Метод **«наилучших прак­тически достижимых мер»**, состоит в том, что независимо от степени загрязнения атмосферного воз­духа в населенных местах внедряются наилучшие тех­нологические меры борьбы с загрязнением, достижимые на современном уровне техники.
* Метод, названный **«управление каче­ством воздуха»**, предполагает наличие стандартов качества воздуха, на базе которых осуществляются все мероприятия по контролю и борьбе с загрязнением ат­мосферы. Этот подход принят сейчас во всех промышленно развитых странах как более действенный.

Наличие стандартов качества воздуха позволяет наиболее рационально проводить мероприятия по оздоровлению атмосферного воздуха, направляя усилия в те рай­оны, где загрязнение воздуха пре­вышает допустимый предел.

За стандарт качества воздуха в нашей стране приняты **пре­дельно допустимые концентрации (ПДК)**для различных токсических веществ.

ПДК для атмосферных загрязнений устанавливаются в двух показателях:   
 максимально-разовые (за 20 мин),   
 средне­суточные (за 24 ч).

Среднесуточные являются основными; их назначе­ние - не допустить неблагоприятного влияния в резуль­тате длительного воздействия.

Максимально-разовые ПДК устанавливаются в дополнение к средне­суточным для веществ, обладающих запахом или раздражающим воздействием.

#### Таблица 1.5

**Предельно допустимые концентрации вредных веществ   
в атмосферном воздухе населенных мест**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Загрязняющее вещество | Предельно допустимые концентрации, мг/м3 | |
| Максимально-разовая | Среднесуточная |
| Пыль нетоксичная | 0,5 | 0,15 |
| Сернистый ангидрид | 0,5 | 0,05 |
| Углерода окись | 3,0 | 1,00 |
| Азота двуокись | 0,085 | 0,085 |
| Сажа (копоть) | 0,15 | 0,05 |
| Сероводород | 0,008 | 0,008 |
| Бенз(а)пирен | - | 0,1 мкг/100 м3 |

Расчеты ведутся по каждому вредному веществу в отдельности, при этом необходимо, чтобы концентрация каж­дого из них не превышала зна­чений, приведенных в табл.1.5.

Введено также требо­вание о необходимости суммирования воздействия окис­лов серы и азота, которое выражается условием  
 . (1.8)  
  
Это ужесточило требования, предъявляемые к про­мышленным предприятиям и, в частности,   
к тепловым электростанциям, с точки зрения охраны воздушного бассейна.