

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Сборник учебно-методических материалов

для направления подготовки 20.03.01 — Техносферная безопасность

Благовещенск, 2017

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
инженерно-физического факультета
Амурского государственного
Университета

Составитель: Булгаков А.Б.

Охрана окружающей среды в теплоэнергетике: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 20.03.01. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017. – 55 с.

© Амурский государственный университет, 2017

© Кафедра Безопасности жизнедеятельности в техносфере, 2017

© Булгаков А.Б., составление

СОДЕРЖАНИЕ

1	Краткое изложение лекционного материала	4
2	Методические указания по выполнению практических занятий	42
3	Методические рекомендации для выполнения самостоятельной работы	53

1. Краткое содержание лекционного материала

Тема 1. Введение в дисциплину «Охрана окружающей среды в теплоэнергетике»

План:

1. Влияние технического прогресса на взаимодействие человека с окружающей природной средой
2. Баланс веществ в природе и его связь с деятельностью человека.
3. Проблемы чистого воздуха и чистой воды, твердые отходы.
 - 3.1. Проблемы чистого воздуха.
 - 3.2. Проблемы чистой воды.
 - 3.3. Твердые отходы.
4. Законодательство об охране природы среды в Российской Федерации.
5. Международное сотрудничество в области охраны природы.

1. Влияние технического прогресса на взаимодействие человека с окружающей природной средой

Научно-технический прогресс дал огромные блага человечеству, но привнес ряд негативных изменений в окружающую среду и условия жизни человека. Растет техногенность физической и химической среды обитания, ускоряется ритм жизни, изменяется психоэмоциональная обстановка труда и быта разных профессиональных, возрастных и социальных групп населения.

Развитие производства сопровождается ростом числа и повышением уровня опасных и вредных факторов для жизнедеятельности человека.

Использование в производстве возрастающего количества технических устройств, систем и технологий обуславливает увеличение числа негативных факторов, действующих на организм работающих. К наиболее распространенным относятся такие вредные факторы производственной среды, как запыленность и загазованность воздуха, избыточные шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения, повышенные или пониженные параметры атмосферного воздуха (температуры, влажности, подвижности воздуха, давления), недостаточное и неправильное освещение, монотонность деятельности, тяжелый физический труд.

Наблюдается нарастание вторичных негативных воздействий на природную среду и человека в виде образования кислотных дождей, парникового эффекта, в форме разрушения озонового слоя Земли.

Концентрация пыли в воздухе многих крупных городов превосходит допустимую норму в (5 – 7) раз, оксида азота - в (1,5 - 2) раза, сернистого газа - в (4 – 8) раз, оксида углерода - в (20 – 30) раз. В воздухе в виде примеси встречаются сероводород, бензол, сероуглерод, хлор, фенол, фтористые соединения и другие вещества.

Бедствием многих стран стало химическое и микробиологическое загрязнение водных объектов.

Интенсивно загрязняются подземные воды, в которых нередко наблюдается повышенное содержание многих химических веществ, в частности мышьяка, фенолов, нитратов, нитритов, солей аммиака.

Отходы, образующиеся на производстве и подлежащие ассимиляции (потреблению, переработке), не успевают (а многие и вообще не могут) разлагаться, рассеиваться или осваиваться средой. Накапливаясь, они изменяют природную среду во вред человеку.

Развитие промышленности сопровождается существенными изменениями в почвенной среде. Уничтожается поверхностный слой почвы, изменяется ее водный режим. Происходит поглощение почвой постоянных химических и газовых загрязнений воздуха. В зависимости от вида промышленных выбросов почвы подвергаются закислению, выщелачиванию, засолению, загрязнению тяжелыми металлами, углеводородами и другими веществами.

Выбросы промышленных предприятий, рассеиваясь на значительные расстояния и попадая в почву, создают новые сочетания химических элементов. Из почвы эти вещества в результате раз-

личных миграционных процессов могут попадать в организм человека по таким цепям, как «почва - растение - человек»; «почва - атмосферный воздух - человек»; «почва - вода - человек».

С промышленными твердыми отходами в почву поступают металлы (железо, медь, алюминий, свинец, цинк), микроэлементы, органические и неорганические соединения. При избытке в воздухе окислов серы, поступающих в атмосферу при сжигании минерального сырья, образуются кислотные дожди. Выпадая, они вызывают в почвах закисление и интенсивное выщелачивание токсичных металлов, в частности свинца и ртути. Поступление последних в водоемы и питьевую воду создает опасность для здоровья людей. Загрязнение почв и нерациональное использование земельных ресурсов в ближайшей перспективе может серьезно обострить проблему обеспечения населения планеты продовольствием, что особенно реально на фоне продолжающегося роста численности жителей Земли.

2. Баланс веществ в природе и его связь с деятельностью человека

Природа - это целостная система с множеством сбалансированных связей. Нарушение этих связей приводит к уменьшению установившегося в природе круговорота веществ и энергии. Развитие производства вызывает серьезные нарушения круговорота ряда веществ (сера, азот, углерод).

Природа уже не в состоянии справиться с утилизацией отходов с помощью света, кислорода, бактерий, воды. По оценке ВОЗ (всемирная организация здравоохранения) в практике используется более 500000 хим. соединений, из них приблизительно 40000 обладают вредными для человека свойствами, а 12000 – токсичными.

За период с 19 до 21 века человечество увеличилось с 1,5 до 5 млрд. человек. Энергетические мощности каждые 12 лет удваиваются, а объем промышленной продукции удваивается каждые 15 лет. Ежегодно из недр земли извлекается более 100 млрд. тонн полезных ископаемых. Выплавляется 800 млрд. тонн металла, изготавливается более 60 млрд. тонн неизвестных природе синтетических материалов используется 13% речного стока, сбрасывается в водоемы 700 млрд. м³ в год сточных вод, сброс твердых веществ в океан – 17,4 млрд. тонн, на производство расходуется 1/3 сырьевых ресурсов, а 2/3 утрачиваются как побочные отходы.

Наибольший удельный вес загрязнения атмосферы приходится на CO₂, S и N, углеводороды и промышленная пыль.

В естественных экологических системах вещества движутся в рамках биогеохимического круговорота веществ.

Баланс в биосфере сложился за многие миллионы лет. Однако всевозрастающая деятельность человека приводит к тому, что человек создал свой антропогенный круговорот веществ, что серьезно нарушает баланс химических веществ в окружающей среде. Это проявляется в виде загрязнения атмосферы, гидросферы, литосферы.

3. Проблемы чистого воздуха и чистой воды, твердые отходы

3.1. Проблемы чистого воздуха

Источников загрязнения воздуха существует, очень много, основными являются:

- промышленное производство различных веществ и материалов (больше всего металлов и их сплавов);
- сжигание разного вида налив (на тепловых электростанциях, котельных, транспорте);
- действующие вулканы во время извержения;
- бытовые и промышленные отходы.

Подсчитано, что на сжигание различных видов топлива за год расходуется около 1/4 кислорода, образующегося в процессе фотосинтеза. Одновременно с этим в воздух поступают вредные вещества, в частности оксиды Сера, Углерода.

Через постоянное загрязнение воздуха ухудшается состояние здоровья людей. Загрязненный сульфур (IV) оксидом воздуха вызывает заболевания органов дыхания и кровообращения, отрицательно действует на нервную систему. Этот оксид является ядом для зеленых растений, особенно хвойных и фруктовых деревьев. В случае отравления карбон (II) оксидом (угарным газом) СО-

людей появляются головная боль, слабость, головокружение, тошнота, рвота, в более тяжелых случаях - потеря сознания, судороги и даже смерть.

В наше время стремительно растет загрязнение воздуха автомобильным транспортом, что работает на бензине и других продуктах переработки нефти.

В состав выхлопных газов входят оксиды Углерода, Азота, Серы, вредные соединения Свинца, сажа и много других загрязнителей. Поэтому нельзя собирать и употреблять лекарственные растения, фрукты, ягоды, грибы, выросшие вдоль автомагистралей.

Большие количества загрязнителей поступают в воздух в результате сжигания топлива на тепловых электростанциях, котельных. При сжигании бытового мусора, опавших листьев возникает дым, в котором содержатся вредные для человека и живой природы вещества.

Твердое, жидкое и газообразное топливо сгорает с выделением в воздух углекислого газа. Уменьшение площадей зеленых насаждений и увеличение количества транспорта приводит к постепенному росту содержания углекислого газа в атмосфере. Это негативно сказывается на возвращении в космическое пространство тепловой энергии из нагретой солнечными лучами Земли. Как следствие температура воздуха в нижних слоях атмосферы повышается. По мнению многих ученых, повышение содержания углекислого газа в воздухе может вызвать ощутимое потепление климата и привести к таянию ледников на полюсах Земли, поднятие уровня воды в океанах, затопление больших площадей земной поверхности.

Веществами, что больше всего загрязняют воздух, являются оксиды Серы, Углерода, Азота. Загрязненный воздух наносит вред здоровью людей, растениям и животным, ухудшает климат.

Одним из последствий загрязнения воздуха в крупных городах и промышленных центрах смог. Дым, туман и пыль образуют устойчивую смесь, которая окутывает город, ухудшает видимость, людям становится трудно дышать. Смог может держаться несколько дней подряд.

3.2. Проблемы чистой воды

Среди химических соединений, с которыми человеку приходится сталкиваться в своей повседневной жизни, вода, пожалуй, - самое привычное и в то же время самое странное. Её удивительные свойства всегда привлекали к себе внимание ученых, а в последние годы стали вдобавок и поводом для разнообразных околонучных спекуляций. Вода - не пассивный растворитель, как принято считать, это активное действующее лицо в молекулярной биологии; при замерзании она расширяется, а не уменьшается в объеме, как большинство жидкостей, достигая наибольшей плотности при 4 °С. Пока никто из теоретиков, работающих над общей теорией жидкостей, не приблизился к описанию её странных свойств.

Отдельного упоминания достойны слабые водородные связи, благодаря которым молекулы воды образуют на короткое время довольно сложные структуры. Много шума наделала опубликованная в 2004 году в журнале Science статья Ларса Петтерсона (LarsPettersson) и его коллег из Стокгольмского университета (StockholmUniversity). В ней, в частности, утверждалось, что каждая молекула воды связана водородными связями в точности с двумя другими. Из-за этого возникают цепи и кольца, длиной порядка сотен молекул. Именно на этом пути исследователи надеются найти рациональное объяснение странностей воды.

Но для жителей нашей планеты вода в первую очередь интересна не этим: без чистой питьевой воды все они просто вымрут, а доступность её с годами становится все более проблематичной. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в настоящее время 1,2 млрд. человек не имеют её в необходимом количестве, миллионы людей умирают ежегодно от болезней, вызванных растворенными в воде веществами. В январе 2008 года на Всемирном экономическом форуме ООН (World Economic Forum Annual Meeting 2008), проходившем в Швейцарии, утверждалось, что к 2025 году население более половины стран мира будет испытывать недостаток в чистой воде, а к 2050 году - 75%.

Количество таких веществ постоянно увеличивается как в развитых, так и в развивающихся странах: от привычных загрязнителей (тяжелых металлов, продуктов нефтепереработки) до таких канцерогенных соединений, как эндокринные дизраптеры (endocrinedisrupter) и нитрозоамины (nitrosamines), от "привычных" паразитов, патогенных бактерий и вирусов (например, холерного вибриона) до относительно недавно открытых прионов. Увеличивающееся население Земли, осо-

бенно та его часть, что проживает в городах (в 2008 году оно должно достичь 50%), а также продолжающийся рост потребления воды - особенно в производстве, сельском хозяйстве и энергетике - тянет за собой и большие затраты водных ресурсов из традиционных источников.

Проблема чистой воды надвигается со всех сторон: так например, ученые предполагают, что в ближайшие 30 лет таяние ледников (одни из основных запасов пресной воды на Земле) приведет к сильным скачкам в уровне многих крупных рек, таких как Брахмапутра, Ганг, Хуанхэ, что поставит полтора миллиарда жителей Юго-Восточной Азии под угрозу нехватки питьевой воды. При этом уже сейчас расход воды, например, из реки Хуанхэ настолько велик, что она периодически не достигает моря.

3.3 Твердые отходы

К твердым бытовым отходам (ТБО) относят смесь веществ и материалов, образующихся в результате жизнедеятельности населения, которые необходимо утилизировать или уничтожить как бесполезные или опасные.

По составу ТБО неоднородны и включают, % по массе: бумагу – (20–30) %, пищевые отходы – (35–40) %, стекло – (4–8) %, металлы – (4–7) %, пластмассы – (3–6) %, текстиль – (4–5) %, дерево – (1–2)% и др.

Дополнительным источником ТБО являются городские сооружения, в которых накапливается осадок (или ил), состоящий на (70-80) % из органических веществ. Он имеет неприятный запах и содержит патогенную микрофлору. Обезвреживание осадка является обязательным условием очистки сточных вод.

В развитых странах мира на одного жителя приходится в среднем (250-300) кг ТБО в год. В разных странах эта величина может колебаться: США – 720 кг, Австралия, Финляндия – 620 кг, Канада, Франция, Швеция – (360-480) кг, Испания, Норвегия – 200 кг, Нидерланды – 190 кг.

В мировой практике наибольшее распространение получили следующие методы переработки ТБО: 1) строительство полигонов для захоронения и частичной их переработки; 2) сжигание отходов на МСЗ; 3) компостирование с получением азотного удобрения или биотоплива; 4) ферментация (получение биогаза из животноводческих стоков); 5) пиролиз - высокотемпературный нагрев без доступа воздуха при 1700°C.

По оценке ряда специалистов, наиболее приемлемым методом следует признать строительство полигонов вместо неконтролируемых свалок. Конструктивные схемы допускают высоту такого полигона до 60 м и послойную его загрузку с помощью бульдозеров. Совместно с ТБО могут складироваться и промышленные отходы. Особое внимание обращают на гидроизоляцию полигонов, чтобы исключить попадание загрязняющих веществ в подземные воды. Срок полного обезвреживания ТБО – 50-100 лет.

Другой метод переработки ТБО – сжигание на МСЗ. В настоящее время в России, работает немногим более 10 МСЗ (в мире – более 2000). Так как на заводах не предусматривается 2-й стадии газоочистки, то в отходящих газах содержание диоксинов достигает 0,7-1 мг/м³ (по нормам ЕС выбросы диоксинов не должны превышать 0,1нг/м³), а в золе – 1 мг/кг. Такие МСЗ являются крайне опасным источником загрязнения атмосферы городов.

На большинстве зарубежных МСЗ реализована двухстадийная очистка отходящих газов, в их составе регламентируется очистка более 10 вредных компонентов, включая диоксины (на заводах Украины и России – только 4 компонента). При этом производится предварительная сортировка ТБО, что способствует резкому снижению токсичных веществ в газах и золе.

В этой связи мусоросжигание рассматривается как пройденный этап утилизации ТБО. Так, в странах ЕС за последние 10 лет не введен в строй ни один МСЗ, а ряд заводов был закрыт.

Рациональным методом переработки ТБО, почти не оказывающим отрицательного воздействия на окружающую среду, является компостирование с аэробным окислением органики. Полученный компост используют в сельском хозяйстве, а отходы сжигают с получением пара. Во избежание загрязнения компоста металлами их удаляют из ТБО до процесса компостирования.

Весьма перспективно получение из ТБО биогаза по способу, который называют «метановым сбразиванием» в анаэробных условиях. В результате микробиологических процессов под воздействием метанобразующих бактерий выделяется биогаз, содержащий до 66 % -70 % СН₄. Метан ис-

пользуют для получения тепла и электроэнергии. Процесс осуществляют в специальных бункерах, врытых в землю, или биореакторах. Получение биогаза из органических отходов привлекает внимание в связи с энергетическим кризисом. Ныне в мире работает более 8 млн. установок для получения биогаза.

К сожалению, в мировой структуре способов утилизации ТБО доля рациональных и эффективных методов крайне незначительна. Так, доля сжигаемых ТБО составляет: Япония – 70%, Зап. Европа – 20 % -50% (Англия – 10%, Дания – 80%), в развивающихся странах – 7 % -10%. Данные по США наиболее показательны: подвергается вторичной переработке -13,1%, сжиганию – 14,2%, захоронению – 72,7% ТБО. В России перерабатывается (сжигается) (3–5)% ТБО, т.е. основным способом утилизации ТБО является захоронение на свалках, в редких случаях – на полигонах.

По прогнозам специалистов, до 2025 г. количество отходов возрастет в 4-5 раз, а стоимость их переработки и хранения – в 2-3 раза. Таким образом, утилизация ТБО переходит в число глобальных экологических проблем.

4. Законодательство об охране природы среды в Российской Федерации

1. Конституция РФ (декларирует права и обязанности граждан РФ).
2. ФЗ «Об охране окружающей среды». В этом законе устанавливаются экологические требования о возведении, проектировании, строительстве, реконструкции, вводе в эксплуатацию промышленных предприятий и иных объектов.

Экологические требования:

1. Должна обеспечиваться экологическая безопасность и сохранение здоровья населения.
2. Должны предусматриваться мероприятия по охране природы и рациональному использованию природных ресурсов.
3. Должны предусматриваться мероприятия по оздоровлению окружающей среды.
4. Нарушение вышеперечисленных требований несёт приостановление до устранения недостатка, либо полное прекращение деятельности экологически вредных объектов.

5. Международное сотрудничество в области охраны природы

Представителями разных стран совместно определены так называемые международные объекты охраны окружающей среды - объекты, находящиеся в пределах международных пространств (Космос, атмосферный воздух, Мировой океан, Антарктида). Освоение и охрана этих объектов осуществляется на основании различных договоров, конвенций, протоколов, отражающих совместные усилия международного сообщества. Например, Конвенцией 1979 г. о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, Монреальским (1987) и Венским (1985) соглашениями по озоновому слою, Конвенцией о трансграничном воздействии промышленных аварий (1992) и многими другими согласованными документами.

К международным объектам природы, охраняемыми отдельными государствами, но взятыми на международный учет, относятся также природные объекты уникальной ценности (заповедники, национальные парки и т.д.; исчезающие и редкие виды, занесенные в Красную книгу; так называемые «разделяемые природные ресурсы», находящиеся в пользовании двух или более государств (река Дунай, Балтийское море и др.).

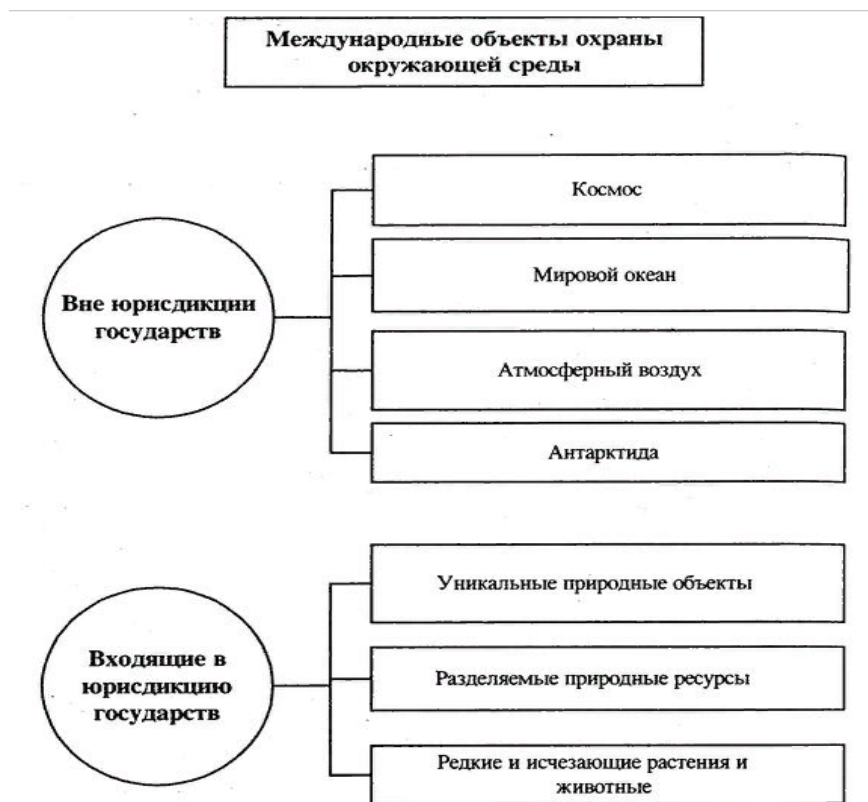


Рисунок 1—Классификация международных объектов окружающей среды

Тема 2. Воздействие тепловых электростанций на окружающую среду

План:

1. Этапы технологии производства тепловой энергии.
2. Схемы взаимодействия ТЭС с окружающей средой.
3. Содержание токсичных веществ в топливе и дымовых газах.
4. Влияние выбросов ТЭС на человека и ОС.
5. Предельно допустимые концентрации (ПДК) в атмосферном воздухе и предельно допустимые выбросы (ПДВ) вредных веществ в атмосферу.
6. Предельно допустимые концентрации (ПДК) в воде и предельно допустимые сбросы (ПДС) вредных веществ в гидросферу.
7. Допустимые и предельно допустимые уровни шума.

1. Этапы технологии производства тепловой энергии

- 1 этап - разведка природных ресурсов;
- 2 этап – извлечение и концентрирование энергетического ресурса до кондиции необходимой для энергетической установки;
- 3 этап – транспортировка кондиционного энергетического ресурса от источника или перерабатывающей фабрики до энергетической установки;
- 4 этап – одноступенчатое или многоступенчатое преобразование энергетического ресурса в заданный вид энергии;
- 5 этап – передача и распределение выработанной энергии;
- 6 этап – потребление выработанной энергии.

2. Схемы взаимодействия ТЭС с окружающей средой

Общая схема взаимодействия промышленного предприятия с окружающей средой приведена на рисунке 2.



ВХОД: сырьё, материалы, оборудование, топливо, вода, кислород и пр.

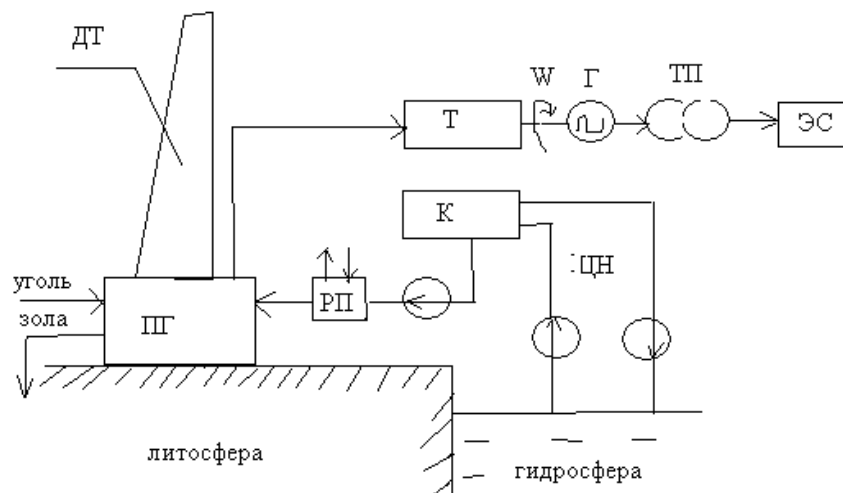
ВЫХОД: товары, твердые и жидкие отходы, выбросы, энергетические загрязнения

Рисунок 2 – Общая схема взаимодействия промышленного предприятия с окружающей средой

Схема взаимодействия ТЭС с окружающей средой приведена на рисунке 3.

Экологические проблемы ТЭС (топливо уголь):

- золошлаковые отходы;
- загрязнения атмосферы (продукты горения угля, угольная пыль со склада угля и т.п.);
- тепловое загрязнение (выбросы в атмосферу из дымовой трубы, сброс воды в пруд-охладитель из системы охлаждения конденсатора, градирни);
- шумовое загрязнение (тепло- и электрооборудование);
- отвод земли под ТЭС.



ДТ - дымовая труба; ПГ – парогенератор; Т – турбина; Г – генератор; ТП – трансформаторная подстанция; ЭС – электросеть; К – конденсатор; ЦН – циркуляционные насосы; ПН – питательный насос; РП – регенеративный подогреватель

Рисунок 3 - Схема взаимодействия ТЭС с окружающей средой

3. Содержание токсичных веществ в топливе и дымовых газах

Атмосферный воздух является жизненно важным компонентом окружающей природной среды, представляющим собой естественную смесь газов атмосферы, находящуюся за пределами жилых, производственных и иных помещений.

Органические топлива, используемые на ТЭС и в котельных для получения электрической и тепловой энергии, наряду с углеродом и водородом часто имеют в своем составе серу и азот. Материальный баланс угольной ТЭС мощностью 2400 МВт приведен на рисунке 4. При сжигании топлив в топках котлов или камерах сгорания газотурбинных установок (ГТУ) образуются различные продукты сгорания, такие как оксиды углерода CO_x , водяные пары H_2O , оксиды серы SO_x , оксиды азота NO_x , полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), соединения вана-

дия, твердые частицы и др. Затем они выбрасываются в атмосферу и рассеиваются в ней с помощью дымовых труб. При этом происходит загрязнение атмосферного воздуха, под которым понимается поступление в атмосферный воздух или образование в нем вредных (загрязняющих) веществ в концентрациях, превышающих гигиенические и экологические нормативы качества атмосферного воздуха.

Вредное (загрязняющее) вещество – это химическое или биологическое вещество либо смесь таких веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, которые в определенных концентрациях оказывают вредное воздействие на здоровье человека и окружающую природную среду.

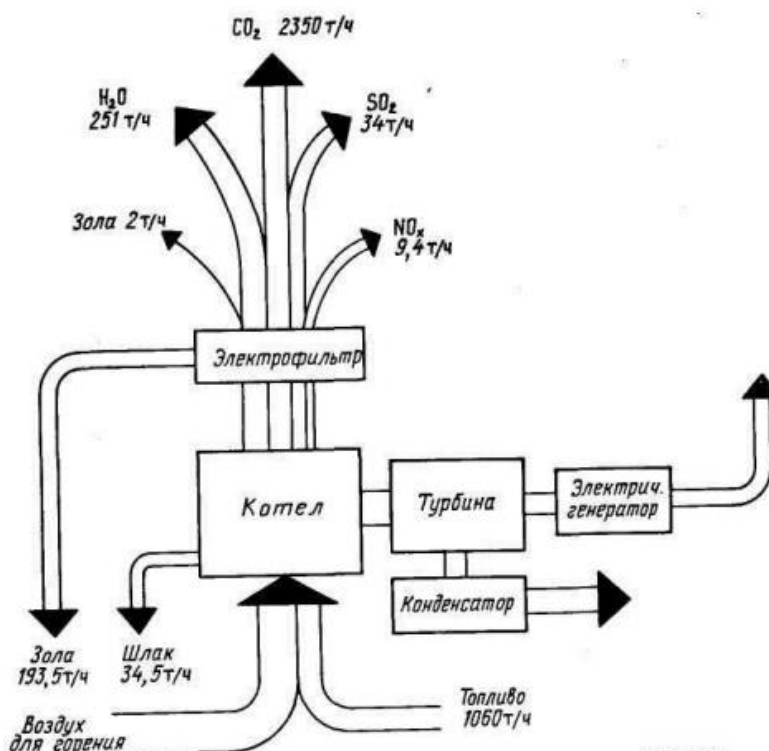


Рисунок 4 –Материальный баланс угольной ТЭС мощностью 2400 МВт

4. Влияние выбросов ТЭС на человека и ОС

Влияние выбросов ТЭС на человека:

– Влияние SOx

Действие токсических веществ может вызвать хронические заболевания, в том числе атеросклероз, заболевания сердца, бронхит, бронхиальную астму и прочее.

– Влияние NOx

Оксиды азота обладают раздражающим действием на слизистую оболочку глаз. Они способны глубоко проникать в лёгкие, вызывая повреждения бронхов.

Влияние выбросов ТЭС на окружающую среду:

Из всех существующих на сегодняшний день видов электростанций тепловые станции на органическом топливе оказывают на окружающую среду наиболее сильное влияние.

ТЭС работают на органическом топливе, в качестве которого используют сравнительно дешевые уголь и мазут. Эти виды топлива - невозполнимые природные ресурсы. Основные энергетические ресурсы в мире сегодня- уголь (40 %), нефть(27 %), газ(21 %). Однако этих запасов, по некоторым оценкам, хватит, соответственно, на 270, 50 и 70 лет, и это при условии, что человечество будет расходовать их с той же скоростью, что и сегодня.

Одним из факторов воздействия угольных ТЭС на окружающую среду являются выбросы систем складирования топлива, его транспортировки, пылеприготовления и золоудаления. При транспортировке и складировании возможно не только пылевое загрязнение, но и выделение

продуктов окисления топлива. Для золошлакоотвалов требуются значительные территории, которые долгое время не используются, и являются очагами накопления тяжелых металлов и повышенной радиоактивности, которые воздушным путем или же с водой попадают в биосферу.

Кроме того, происходит значительное тепловое загрязнение водоемов при сбрасывании в них теплой воды, что сопутствует цепным природным реакциям: зарастанию водоемов водорослями, нарушению кислородного баланса, что создает угрозу для жизни обитателей рек и озер.

Основными факторами воздействия ТЭС на гидросферу являются выбросы теплоты, следствием которых могут быть: постоянное локальное повышение температуры в водоеме; временное повышение температуры; изменение условий ледостава, зимнего гидрологического режима; изменение условий паводков; изменение распределения осадков, испарений, туманов.

Загрязняющие примеси выбросов электростанций воздействуют на биосферу района расположения предприятия, подвергаются различным превращениям и взаимодействиям, а также осаждаются, вымываются атмосферными осадками, поступают в почву и водоемы.

Воздействие на животный и растительный мир оказывает загрязнение атмосферы окисью серы, которая разрушает хлорофилл растений, может привести к повреждениям листьев и хвои. Воздействие окиси углерода на человека и животных состоит в том, что она, соединяясь с гемоглобином крови, очень быстро лишает организм кислорода и приводит к нарушению нервной системы. Оксиды азота снижают прозрачность атмосферы и способствуют образованию смога. Токсичностью отличается пентаксид ванадия, входящий в состав золы мазута. Это вещество вызывает раздражение дыхательных путей у человека и животных, расстройство кровообращения и нервной системы, а также нарушение обмена веществ.

5. Предельно допустимые концентрации (ПДК) в атмосферном воздухе и предельно допустимые выбросы (ПДВ) вредных веществ в атмосферу

ПДК –такая концентрация вредного вещества в атмосферном воздухе на уровне дыхания человека, которая не оказывает на организм человека прямого или косвенного негативного воздействия, не снижает его работоспособности, не влияет на его самочувствие или настроение.

Различают следующие ПДК вредных веществ в атмосферном воздухе:

- ПДК_{МР} – максимальная разовая концентрация вещества. Для веществ, имеющих запах (или другое раздражающее действие). Она используется для оценки пиковых подъемов концентрации в течение (20–30) минут.

- ПДК_{СС} – среднесуточная концентрация. Является основной и служит для предотвращения хронического неблагоприятного действия. Эта ПДК не должна оказывать отрицательного воздействия на живые организмы в течение неопределенно долгого времени (средневзвешенная за 24 ч).

ПДК вредных веществ в атмосферном воздухе приведены в ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений»

Сочетания вредных веществ, имеющих суммарное действие:

- диоксид азота+диоксид серы;
- диоксид серы+аэрозоль серной кислоты;
- диоксид серы+сероводород;
- диоксид серы+оксид серы+аммиак+оксиды азота;
- диоксид серы+диоксид азота+фенол+оксид углерода и ряд других.

По степени воздействия на организм вредные вещества подразделяются на четыре класса опасности. Для каждого класса опасности установлена своя ПДК. Выделяют следующие классы опасности веществ в атмосферном воздухе:

- 1) вещества чрезвычайно опасные (ПДК менее 0,1 мг/м³);
- 2) вещества высокоопасные (ПДК (0,1–1) мг/м³);
- 3) вещества умеренно опасные (ПДК (1,1–10) мг/м³);
- 4) вещества малоопасные (ПДК более 10 мг/м³).

ПДВ – норматив ПДВ вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, который устанавливается для стационарного источника загрязнения атмосферного воздуха с учетом технических нормативов выбросов и фоновое значение атмосферного воздуха при условии непривышения данными источниками гигиенических и экологических нормативов качества атмосферного воздуха, предельно допустимых (критических) нагрузок на экологические системы, других экологических нормативов.

6. Предельно допустимые концентрации (ПДК) в воде и предельно допустимые сбросы (ПДС) вредных веществ в гидросферу

ПДК– максимальная концентрация вещества в воде, которая при поступлении в организм в течение всей жизни не должна оказывать прямого или опосредованного влияния на здоровье населения в настоящем и последующих поколениях, в том числе в отдаленные сроки жизни, а также не ухудшать гигиенические условия водопользования.

Вещества разделены на четыре класса опасности:

- 1 класс – чрезвычайно опасные;
- 2 класс – высокоопасные;
- 3 класс – опасные;
- 4 класс – умеренно опасные.

ПДС– экологический норматив: масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению в установленном режиме в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном пункте. ПДС - лимит по расходу сточных вод и концентрации содержащихся в них примесей - устанавливается с учетом ПДК веществ в местах водопользования (в зависимости от вида водопользования), ассимилирующей способности водного объекта, перспектив развития региона и оптимального распределения массы сбрасываемых веществ между водопользователями, сбрасывающими сточные воды.

Нормативы предельно допустимых сбросов (проект нормативов ПДС) устанавливаются для каждого выпуска сточных вод действующего предприятия - водопользователей, исходя из условий недопустимости превышения предельно допустимых концентраций вредных веществ (ПДК) в контрольном створе или на участке водного объекта с учетом его целевого использования, а при превышении ПДК в контрольном створе - исходя из условия сохранения (неухудшения) состава и свойств воды в водных объектах, сформировавшихся под влиянием природных факторов.

7. Допустимые и предельно допустимые уровни шума

Допустимый уровень шума – это уровень, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального состояния систем и анализаторов, чувствительных к шуму.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Тема 3. Распределение загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

План:

1. Инвентаризация выбросов загрязняющих веществ и разработка проекта нормативов ПДВ для ТЭС.
2. Определение выбросов загрязняющих веществ для ТЭС.
3. Распространение выбросов ТЭС в атмосферном воздухе.
4. Расчет оптимальной высоты дымовых труб и их числа для ТЭС.

1. Инвентаризация выбросов загрязняющих веществ и разработка проекта нормативов ПДВ для ТЭС

Инвентаризация выбросов загрязняющих веществ в атмосферу – систематизация сведений о распределении источников выделения загрязняющих веществ и источников загрязнения атмосферы на территории, а также о количестве и составе выбросов.

Инвентаризацию проводят все тепловые электростанции (ТЭС) и котельные вне зависимости от организационно-правовой формы и формы собственности ТЭС, используемого топлива, мощности.

Инвентаризацию проводят сами ТЭС или по их поручению организации и фирмы, имеющие лицензию на вид деятельности. При проведении инвентаризации силами самого предприятия специальной лицензии не требуется.

Инвентаризация должна проводиться периодически, но не реже, чем 1 раз в 5 лет.

На ТЭС инвентаризации подлежат: выбросы загрязняющих веществ в атмосферу; источники выделения загрязняющих веществ; источники загрязнения атмосферы; пылегазоочистные установки.

При инвентаризации определяется количество выбросов максимально разовое (г/с) не менее, чем за 20-минутный интервал и годовое (т/год) для каждого источника выделения, каждого источника загрязнения атмосферы и всего предприятия в целом.

При напряженной экологической ситуации в районе расположения ТЭС, обусловленной повышенным содержанием в атмосферном воздухе загрязняющих веществ, но согласованному с Госкомэкологией РФ заданию территориальных органов охраны природы для ТЭС выполняется инвентаризация выбросов этих веществ.

Для объектов ТЭС, расположенных вне промплощадки предприятия и санитарной защитной зоны (СЗЗ), инвентаризацию выбросов проводят в полном объеме.

Нормирование выбросов ТЭС и котельных (далее – ТЭС) производится в соответствии с едиными общегосударственными нормативными требованиями с учетом специфики энергетического производства, его жизнеобеспечивающей функции и направлено на обеспечение максимально возможного предотвращения загрязнения атмосферного воздуха.

Основными нормативными документами, составляющими методическую основу нормирования выбросов ТЭС, являются законы об охране природной среды, государственные стандарты, инструктивные и методические материалы Госкомэкологии РФ и Минздрава РФ, отраслевые нормативные документы.

Работы по нормированию выбросов заключаются в подготовке проекта нормативов выбросов, содержащего предложения по ПДВ и лимитам выбросов, срокам и путям достижения нормативов, и в утверждении проекта в местном органе Госкомэкологии РФ. Согласование проекта с местным органом санитарно-эпидемиологического надзора проводится по требованию местного органа Госкомэкологии РФ.

Разработка проекта проводится в сроки, определенные местным органом Госкомэкологии РФ.

В проекте нормативов выбросов в атмосферу определяется уровень и возможный срок достижения контрольного норматива ПДВ (г/с) отдельно по каждому загрязняющему веществу.

Для действующих, реконструируемых ТЭС контрольный норматив ПДВ (г/с) устанавливается на уровне, исключающем превышение допустимого вклада ТЭС в загрязнение атмосферного воздуха.

Годовой норматив ПДВ (т/год) по каждому загрязняющему веществу рассчитывается исходя из:

- планируемого годового расхода различных видов топлива;
- постоянной в течение года реализации всех воздухоохраных мероприятий, используемых при максимальной нагрузке ТЭС для обеспечения контрольных нормативов (за исключением особо оговоренных мероприятий кратковременного применения);

– значений концентрации загрязняющих веществ в дымовых газах, определенных для планируемых среднегодовых нагрузок котлов при работе на каждом из отдельно используемых топлив или смеси топлив.

Годовому выбросу категория ПДВ присваивается, если при этом максимальный выброс (г/с) не превышает контрольного ПДВ.

Контрольные и годовые нормативы выбросов задаются с округлением в сторону завышения не более чем на 2,5 %.

2. Определение выбросов загрязняющих веществ для ТЭС

Для расчетов в исходный период по данным последних (3 – 4) лет, непосредственно предшествующих году разработки проекта нормативов выбросов, принимаются наибольшие максимальная и годовая нагрузки ТЭС со структурой топливного баланса, качеством используемого топлива, наиболее близкими к этим показателям в нормируемый период. При существенном изменении режима работы ТЭС с первого года нормируемого периода указанный год принимается в качестве базового при оценке эффективности намечаемых воздухоохраных мероприятий.

При определении выбросов (максимальных и годовых) принимаются:

– фактическое качество каждого вида топлива, использованного на ТЭС (соответственно наихудшее и среднегодовое);

– среднеэксплуатационная (за год) степень очистки дымовых газов.

Максимальный выброс каждого загрязняющего вещества из дымовой трубы и в целом по ТЭС определяется при наибольшей среднечасовой нагрузке исходя из фактического режима работы отдельных котлов в период максимума суммарной нагрузки соответственно котлов, подключенных к трубе, и ТЭС.

Дополнительно рассчитывается максимальный выброс загрязняющих веществ с дымовыми газами для летнего времени при средней температуре наружного воздуха наиболее жаркого месяца года (данные необходимы местным органам Госкомэкологии РФ для расчета загрязнения воздушного бассейна города).

Параметры выбросов по каждой дымовой трубе (температура дымовых газов, избыток воздуха, концентрация загрязняющих веществ) определяются как средневзвешенные характеристики дымовых газов, поступающих в данную трубу от отдельных котлов.

Выбросы из дымовой трубы оксидов азота, оксида углерода, золы твердого топлива определяются по данным инструментальных измерений концентраций загрязняющих веществ в дымовых газах, проводимых на данной ТЭС в ходе планового контроля и плановых испытаний оборудования. Для однотипного оборудования в аналогичных условиях эксплуатации допускается использование данных измерений по одному котлу и одной золоулавливающей установке.

Расчетными методами рекомендуется определять выбросы диоксида серы, мазутной золы (исходя из количества и качества используемого топлива), сажи, бенз(а)пирена, выбросы от угольного склада при перевалке топлива и с золоотвала при выемке сухой золы.

3. Распространение выбросов ТЭС в атмосферном воздухе

Расчет проводится в соответствии с Приказом Минприроды России (Министерства природных ресурсов и экологии РФ) от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе»

При одинаковом абсолютном выбросе степень загрязнения атмосферного воздуха в населенных пунктах может значительно изменяться в зависимости от высоты выброса.

Различают источники выбросов:

– высокие ($H > 50$ м);

– средние ($H = (10-50)$ м);

– низкие ($H = (2-10)$ м);

– наземные ($H < 2$ м).

Чем выше источник выброса, тем больше сечение дымового факела в точке касания его поверхности земли и во всех точках, больше скорость ветра, интенсивнее процессы турбулентности, а также меньше концентрация примесей. Изменение сечения дымового факела определяется величиной раскрытия его угла. Угол раскрытия факела колеблется в пределах (10—60) °.

Считают, что при высоких «горячих» выбросах зона максимального загрязнения находится в пределах (10-40)-кратной высоты этих выбросов, а при «холодных» низких - в пределах (5-20) - кратной высоты.

Степень разбавления выброса атмосферным воздухом зависит и от расстояния, которое проходит ГВС до определенной точки. Чем дальше относится дым от места выброса, тем больше сечение факела.

Рассеивание вредных веществ в атмосфере является следствием трех основных механизмов:

- 1) усредненного движения масс воздуха, переносящего загрязнение в направлении ветра;
- 2) турбулентных флюктуации, рассеивающих примеси во всех направлениях;
- 3) массовой диффузии, связанной с градиентом концентрации. Вместе с тем такие общие аэродинамические характеристики, как размер, форма и масса твердых аэрозольных частиц, влияют на процесс их переноса и седиментации.

Большое значение в формировании загрязнения воздушного бассейна в городе имеет направление ветра. При относительно равномерном размещении промышленных объектов на территории населенного пункта зона повышенного содержания ингредиентов смещается в подветренную сторону.

Установлено, что для одиночных источников выбросов максимум концентрации атмосферных загрязнений наблюдается при направлении ветра, вдоль этих источников, а если имеется группа параллельно расположенных источников, та неблагоприятным оказывается ветер, направленный перпендикулярно к ним. Наряду с этим необходимо учитывать, что под влиянием сезонных и суточных изменений направления ветра в районах с бризовой или муссонной циркуляцией перемещаются наибольшие концентрации примесей.

Условно выделяют три масштабные градации распространения примесей а атмосфере:

- 1) локальный перенос (до 10 км) — характерный для загрязнения атмосферного воздуха в пригородной зоне;
- 2) мезомасштабный перенос (до 100 км), характерный для загрязнения атмосферного воздуха в пределах района;
- 3) дальний перенос (более 100 км), в пределах страны (от источника выброса).

4. Расчет оптимальной высоты дымовых труб и их числа для ТЭС

Расчет высоты дымовой трубы производится, исходя из условий рассеивания выброса вредных веществ.

При этом должны соблюдаться все санитарные нормы для коммерческих и заводских предприятий, а также учитываться фоновая концентрация данных веществ.

Последняя характеристика зависима от:

- метеорологического режима атмосферы в данной местности;
- скорости потока масс воздуха;
- рельефа местности;
- температуры отводимых газов и пр. факторов.

Тема 4. Очистка дымовых газов ТЭС от летучей золы, сажи и частиц недожиг топлива

План:

1. Классификация методов
2. Характеристика летучей золы, сажи и пыли
3. Основные сведения из теории золоулавливания
4. Механические золоулавливатели

5. Рукавные фильтры
6. Мокрые золоуловители
7. Электрофильтры

1. Классификация методов

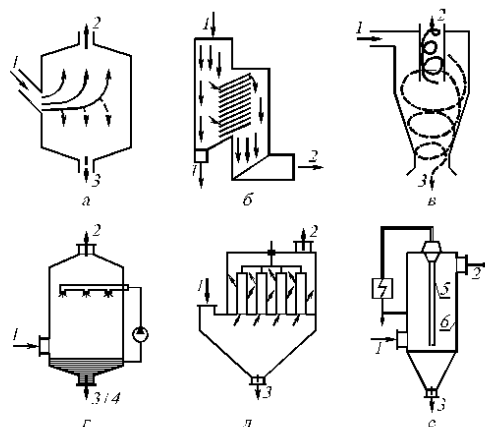
Эффективность работы золоулавливающих устройств зависит от физико-химических свойств золы и транспортирующих ее дымовых газов. Основными параметрами золы являются плотность, дисперсный состав, удельное электрическое сопротивление, слипаемость.

Для очистки газов от золы и пыли применяются аппараты, различающиеся по конструкции и принципу осаждения частиц (рисунк5). Их подразделяют на четыре группы:

- «сухие» механические;
- «мокрые» механические;
- фильтры;
- электрофильтры.

Золо-пылеуловители характеризуются эффективностью улавливания, которая представляет собой отношение массы уловленной пыли к общему количеству пыли, поступающей в аппарат.

К «сухим» механическим аппаратам относятся: осадительные камеры, циклоны, инерционные, жалюзийные, вихревые и динамические пылеуловители.



- а – осадительная камера; б – жалюзийный золо-пылеуловитель; в – циклон; г – «мокрый» пыле-золоуловитель; д – рукавный фильтр; е – электрофильтр;
 1 – загрязненные газы; 2 – очищенные газы; 3 – твердые частицы; 4 – вода; 5 – коронирующие электроды; 6 – осадительные электроды

Рисунок 5 – Золо-пылеуловители ТЭС и котельных:

К группе «мокрых» механических пыле-золоуловителей относятся: полые, насадочные, тарельчатые, ударно-инерционного действия, центробежные, скоростные (скрубберы Вентури) скрубберы. Удаление золы (пыли) в них происходит при непосредственном контакте жидкости с запыленным газом. Принцип их действия основан на отделении частиц золы (пыли) от потока инерционными силами и их прилипанию к пленке воды, омывающей стенки или поверхность насадки, что исключает возврат частиц в поток газа. В золоуловителях такого типа помимо улавливания золы протекают химические процессы поглощения из дымовых газов оксидов углерода и серы.

2. Характеристика летучей золы, сажи и пыли

Золой при определении характеристики топлива считается остаток, получающийся при прокаливании до постоянной массы навески топлива в присутствии кислорода при температуре 8000 °С (1073 К).

Фазово-минералогические исследования состава золы различных видов твердого топлива показывают, что основной фазой всех видов золы является стекло. Кристаллическая фаза представлена различными количествами кварца, гематита, магнетита и различными силикатами кальция.

Характеристики золы (уноса), полученной в топках котлов несколько отличаются по физико-химическим свойствам и химическому составу от золы, полученной в лабораторных условиях. Такое отличие определяется температурными условиями и временем сжигания частиц топлива в топке. Где температура значительно выше 8000 С. Основными отличительными факторами является шлакование (расплавление) части минеральной составляющей топлива и наличие в золе частиц недогоревшего топлива (механического недожога).

Эффективность работы газоочистных устройств во многом зависит от физико-химических свойств улавливаемой золы и поступающих в золоуловитель дымовых газов.

Основными характеристиками золы являются:

- плотность;
- дисперсный состав;
- электрическое сопротивление (для электрофильтров);
- слипаемость.

Физические свойства угольной пыли значительно отличаются от свойств исходного угля. Смесь угольной пыли с воздухом обладает высокой подвижностью и может легко перемещаться по трубопроводам на значительные расстояния. Угол естественного откоса угольной пыли равен (30–40)°. Из-за пористой структуры пылинок насыщенная воздухом угольная пыль имеет насыпную плотность всего лишь 0,5 т/м³. Но со временем пыль слеживается, уплотняется, в результате чего её насыпной вес увеличивается. В нижней части пылевых бункеров насыпной удельный вес пыли может достигать (0,8–0,9) т/м³.

3. Механические золоулавливатели

К «сухим» механическим аппаратам относятся: осадительные камеры, циклоны, инерционные, жалюзийные, вихревые и динамические пылеуловители.

Они отличаются простотой изготовления и эксплуатации. Однако эффективность улавливания пыли в них не всегда достаточна, поэтому их используют в основном для предварительной очистки газов.

Осадительные камеры представляют собой пустотелые или с горизонтальными полками камеры. В них используется гравитационное осаждение частиц при прохождении газа через объем аппарата со скоростью (0,2-0,8) м/с.

Жалюзийные золо-пылеуловители просты по конструкции и имеют небольшое гидравлическое сопротивление. Они состоят из жалюзийной решетки и пылеуловителя (циклона). Назначение жалюзийной решетки – разделить газовый поток на две части: одну – менее запыленную, составляющую (80-90) % от всего газового потока, и другую – отсасываемую в циклон, составляющую (10-20) % всего потока и содержащую основную массу пыли, которая улавливается в циклоне. Далее очищенный в циклоне газ смешивается с основным потоком.

Скорость газа в жалюзийном пылеуловителе составляет (12-15) м/с; гидравлическое сопротивление решетки – (100-500) Па. Применяется для улавливания частиц крупнее 20 мкм.

Циклоны являются наиболее распространенными аппаратами для очистки газов от золы и пыли. Они просты в изготовлении, надежно работают при высоких температурах и давлениях газов, имеют практически постоянное гидравлическое сопротивление и не изменяют фракционную эффективность с ростом запыленности газов.

4. Рукавные фильтры

К промышленным фильтрам относятся тканевые, зернистые и грубоволокнистые фильтры, используемые для очистки промышленных газов с концентрацией золы (пыли) до 60 г/м³. Наиболее распространены тканевые фильтры, которые содержат гибкую фильтрующую перегородку, имеющую форму цилиндрических рукавов (рукавные фильтры) (рисунок бд).

Эффективность таких фильтров – более 99,5 %, а потери напора составляют (1–1,5) кПа при скорости фильтрования (0,5–2) м/с.

Тканевые фильтры изготавливают из материала, который должен выдерживать высокую температуру уходящих газов. Материал фильтра должен быть устойчивым к повышенной влажности и воздействию химических соединений. В качестве материала фильтров используют шерсть, шерстяной войлок или лавсан при температуре газов до 130 °С. Для температуры около 260 °С применяют стекловолокно и стекловолокно с графитом. Длительность работы ткани составляет (1–3) года. Тканевые фильтры обычно делают многокамерными. Число рукавов в одной камере может составлять 100 и более.

Дымовые газы поступают снизу внутрь рукавов, осаждение частиц пыли происходит на внутренней поверхности стенки рукава. При регенерации в одну из камер прекращается подача дымовых газов, и прилипшие к ткани слои пыли удаляются встряхиванием или вибрацией рукавов. Отделению пыли способствует также струя сжатого воздуха, направляемая против движения, осуществляемого в процессе фильтрации. Отделившаяся пыль падает в пылесборник, находящийся под рукавами, и удаляется с помощью шнеков.

Остаточная концентрация золы (пыли) после тканевых фильтров может составлять (15–50) мг/м³, что удовлетворяет самым жестким нормативам.

5. Мокрые золоуловители

К группе «мокрых» механических пыле-золоуловителей относятся: полые, насадочные, тарельчатые, ударно-инерционного действия, центробежные, скоростные (скрубберы Вентури) скрубберы. Удаление золы (пыли) в них происходит при непосредственном контакте жидкости с запыленным газом. Принцип их действия основан на отделении частиц золы (пыли) от потока инерционными силами и их прилипанию к пленке воды, омывающей стенки или поверхность насадки, что исключает возврат частиц в поток газа. В золоуловителях такого типа помимо улавливания золы протекают химические процессы поглощения из дымовых газов оксидов углерода и серы.

Мокрые золоуловители отличаются высокой эффективностью (степень очистки достигает (95–97) %), относительно невысокой стоимостью, умеренными габаритами, простотой обслуживания и относительно небольшими эксплуатационными расходами.

Полые скрубберы (рисунки б, г) представляют собой колонны круглого или прямоугольного сечения, в которых осуществляется контакт между газом и каплями воды, распыляемой форсунками. Форсунки устанавливаются в колонне в одном или нескольких сечениях. Наиболее распространены противоточные скрубберы. Скорость газа в них изменяется от 0,6 до 1,2 м/с. Если работа производится при скоростях газа до (5–8) м/с, то устанавливаются каплеуловители.

Гидравлическое сопротивление скруббера без каплеуловителя составляет 250 Па. Высокая эффективность скруббера обеспечивается при размере частиц, превышающем 10 мкм.

В тарельчатых колоннах зола (пыль) удерживается газожидкостным (пенным) слоем, образующимся на контактных тарелках при взаимодействии газа и жидкости. Наиболее распространены пенные аппараты с ситчатыми тарелками или с провальными тарелками – дырчатыми, решетчатыми, трубчатыми и колосниковыми.

В основе работы пористых фильтров всех видов лежит процесс фильтрования газов через пористые перегородки. При фильтровании твердые и жидкие частицы задерживаются на перегородке, а газ полностью проходит через нее. Фильтрующие перегородки весьма разнообразны, но в основном они состоят из волокнистых или зернистых элементов.

Фильтры тонкой очистки предназначены для улавливания в основном субмикронных частиц из газов с низкой начальной концентрацией (< 1 мг/м³). Их применяют для улавливания особо токсичных частиц с высокой эффективностью. Для очистки газов на 99 % от частиц размером 0,05–0,5 мкм используют материалы в виде тонких листов или объемных слоев из тонких или ультратонких волокон (диаметром менее 2 мкм).

6. Электрофилтры

Промышленные электрофилтры (рисунок 5е) используются для очистки больших объемов газа (до 1 млн. м³/ч) с концентрацией частиц до 50 г/м². В них происходит улавливание частиц любых размеров с эффективностью более 99 %. Электрофилтры могут работать при температурах газов до (400–450) °С как под разрежением, так и под давлением. Гидравлическое сопротивление их равно 100–150 Па. Затраты энергии составляют (0,1–0,5) кВт·ч на 1000 м³ очищаемого газа.

Электрофилтры имеют следующие недостатки: большие габариты, повышенная металлоемкость, высокая стоимость, для их обслуживания необходим квалифицированный персонал.

Электрофилтры подразделяются:

- 1) по конструкции – на однозонные и двухзонные;
- 2) по направлению газового потока – на горизонтальные и вертикальные;
- 3) по конструкции осадительных электродов – на пластинчатые и трубчатые;
- 4) по способу удаления пыли с электродов – на «сухие» и «мокрые»;
- 5) в зависимости от количества последовательно расположенных электрических полей – на однополевые и многополевые;
- 6) в зависимости от числа параллельных электрофилтров – на одно- и многосекционные.

Эффективность улавливания существенно зависит от электрических свойств газового потока, прежде всего от электрического сопротивления золы частиц. С повышением удельного электрического сопротивления частиц скорость осаждения снижается. Кроме того, эффективность работы электрофилтров зависит от режима встряхивания электродов, для чего чаще всего используют ударно-молотковые механизмы. Промежутки между встряхиваниями должны быть оптимизированы для каждого поля, так как в каждом последующем поле количество осаждаемой золы уменьшается.

Эффективность очистки дымовых газов от золы и пыли значительно повышается при использовании комбинации филтров, например, мокрого золоуловителя и электрофилтра. Увеличение влажности и снижение температуры газов в мокром золоуловителе обеспечивает эффективное улавливание золы в электрофилтре. Общая степень улавливания золы при этом достигает (99–99,5) %.

Тема 5. Очистка дымовых газов ТЭС от оксидов азота

План:

1. Классификация методов снижения содержания оксидов азота в дымовых газах ТЭС.
2. Первичные и вторичные методы снижения содержания оксидов азота в дымовых газах.

1. Классификация методов снижения содержания оксидов азота в дымовых газах ТЭС

Из анализа механизмов образования оксидов азота при сжигании топлив следует, что уменьшения образования NO_x можно достичь, реализовав мероприятия, направленные:

- 1) на снижение температуры горения;
- 2) уменьшение времени пребывания продуктов сгорания в области высоких температур;
- 3) создание зон реакций с восстановительной атмосферой (избыток воздуха меньше единицы), где образование NO из азота топлива затруднено и восстановление оксидов азота идет до молекулярного азота.

Для снижения выбросов оксидов азота проводят следующие первичные или режимно-технологические мероприятия:

- 1) использование горелок с низким выбросом NO_x (снижение NO_x до 60 %);
- 2) ступенчатое сжигание топлива (снижение NO_x на (35 – 45) %);
- 3) ступенчатую подачу воздуха (снижение NO_x до 50 %);
- 4) рециркуляцию дымовых газов (снижение NO_x до 33 %);
- 5) впрыск воды (или водомазутной эмульсии) в ядро факела (снижение NO_x на (25–44) %);
- 6) комбинацию первичных мероприятий (снижение NO_x до 90 %).

2. Первичные и вторичные методы снижения содержания оксидов азота в дымовых газах

Первичные мероприятия малозатратны и поэтому их применяют, прежде всего, для обеспечения нормируемых выбросов оксидов азота.

Использование горелок с низким выбросом NOX

У горелок с низким выбросом NOX, которые созданы в многочисленных вариантах, организована ступенчатая подача воздуха. Принцип работы такой горелки заключается в следующем. В ядро факела подается количество воздуха, недостаточное для обеспечения полноты горения (кислородный «голод»), в то время как во внешнюю зону горения подается избыточное количество воздуха, чтобы обеспечить полноту сгорания топлива. Кроме того, конструкция горелки позволяет поддерживать рециркуляцию воздуха внутри зоны горения.

Применение этих горелок дает возможность снизить выбросы оксидов азота от 50 % для угольных котлов до 60 % для газомазутных котлов, не ухудшая технико-экономические показатели котла.

Ступенчатое сжигание топлива

При ступенчатом сжигании топлива горелки в топке котла размещают в несколько ярусов (обычно три-четыре яруса). Подача воздуха (избыток воздуха) изменяется тоже по ярусно. Например, при двухступенчатом сжигании нижний ряд горелок получает недостаточное для стехиометрического горения количество воздуха, а верхние ряды горелок, наоборот, получают избыточное его количество.

Наилучший эффект дает трехступенчатое сжигание, прежде всего, на котлах с топками с жидким шлакоудалением, и особенно сжигание высокосернистых топлив при обеспечении минимальной газовой коррозии экранных труб.

Суть трехступенчатого сжигания состоит в том, что по высоте топочной камеры организуют три зоны. В первой (нижней) зоне топки сжигается основное количество топлива (70-85 %) при избытке воздуха близком к единице. На выход из зоны активного горения подается оставшая часть топлива (15-30) % и соответствующее количество воздуха с таким расчетом, чтобы суммарный избыток воздуха в ней составлял 0,9-0,95 (т.е. небольшой недостаток для полного сжигания топлива), благодаря чему в этой части топки создается зона с восстановительной средой, в которой продукты неполного горения (CO, H₂, C_n, H_m) восстанавливают уже образовавшиеся окислы азота NO до N₂.

Рециркуляция дымовых газов

Рециркуляция дымовых газов из конвективной шахты в тракт воздуха осуществляется, как правило, с помощью дополнительного дымососа рециркуляции газов (ДРГ).

Для улучшения перемешивания газов рециркуляции с воздухом, который поступает в топочную камеру, устанавливают смесители. Доля ре-циркулирующих газов обычно не превышает 20 %. Благодаря рециркуляции дымовых газов снижаются концентрация кислорода в зоне горения топлива и температура горения.

Уменьшение выбросов NOX при использовании данного метода может быть доведено:

- при сжигании угля до 25 %;
- при сжигании мазута до 30 %;
- при сжигании природного газа до 33 %.

Технико-экономические показатели при этом заметно ухудшаются. Возрастает расход электроэнергии на собственные нужды (за счет привода дымососов рециркуляции газов). Кроме того, растет температура уходящих газов, что приводит к снижению КПД котла на (0,6 - 1,3) %.

Впрыск воды в ядро факела

Впрыск воды или ввод водомазутной эмульсии в ядро факела снижает максимальную температуру в нем и тем самым препятствует образованию термических оксидов азота. Этот способ применяется по большей части в период неблагоприятных метеорологических условий в районах с повышенной фоновой концентрацией вредных веществ. Количество впрыскиваемой в топку котла воды составляет около 10 % расхода топлива.

Этот способ снижает выбросы NO_x примерно на 25 % и одновременно снижает КПД котла приблизительно на 0,7 %. Эффективность впрыска воды в топку существенно уменьшается, если котел работает с рециркуляцией газов или в режиме ступенчатого сжигания топлива. По этой причине метод впрыска не получил широкого применения.

К вторичным мероприятиям по уменьшению выбросов NO_x относятся селективные системы очистки дымовых газов от NO_x .

Для очистки дымовых газов котлов от оксидов азота используют селективный некаталитический (СНКВ) и каталитический (СКВ) методы восстановления NO_x до молекулярного азота. В них в качестве восстановителя применяется аммиак. Некаталитические системы проще, их сооружение обходится не дороже замены горелок, а эффективность достаточно высока: выбросы оксидов азота снижаются на (40 – 60) %. Аммиак (аммиачная вода, карбамид) вводится в высокотемпературную (900 – 1100) °С область газохода котла с газами рециркуляции, воздухом или паром. Сочетание технологических методов подавления оксидов азота с методом СНКВ при сжигании угля позволяет снизить концентрации оксидов азота в дымовых газах до 300 мг/м.

Важнейшей тенденцией является объединение этих двух технологий (СКВ и СНКВ). Этот процесс может осуществляться по следующей схеме: подача аммиака или мочевины в высокотемпературную зону (система СНКВ) приводит к частичному восстановлению NO_x и повышению содержания аммиака в дымовых газах. Путем добавления в газоходы небольшого количества катализатора за счет аммиака удается обеспечить дополнительное восстановление NO_x . Катализатор в этом случае размещают на поверхности воздухоподогревателя.

По сравнению с СКВ для системы СНКВ не нужны значительные инвестиционные затраты, однако эффективность этой системы очистки заметно ниже.

При необходимости с помощью СНКВ можно снизить выбросы NO_x по сравнению с первоначальными вдвое, а с помощью селективного каталитического восстановления (СКВ) в (5 – 10) раз.

При практической реализации системы СНКВ возникает ряд трудностей:

- 1) невозможно обеспечить оптимальную температуру дымовых газов по всему сечению газохода;
- 2) невозможно предотвратить изменение температуры в реакционной зоне при изменении нагрузки котла;
- 3) недостаточна протяженность реакционной зоны для обеспечения необходимого времени протекания реакции;
- 4) невозможно распределить аммиак по сечению газохода так, чтобы везде соотношение NH_3/NO_x было близко к оптимальному.

Таким образом, эффективность очистки зависит от конструктивных особенностей котла и его размеров.

Система каталитического восстановления NO_x является наиболее эффективной и освоенной для уменьшения содержания оксидов азота в дымовых газах мощных паровых котлов.

Электронно-лучевой способ очистки дымовых газов от NO_x

Электронно-лучевой способ (ЭЛС) основан на облучении дымовых газов потоком β -частиц (электронов). В результате протекания радиационно-химических реакций образуются реакционно-активные компоненты О-, ОН-, Н-. Они взаимодействуют с NO_x , в результате чего получаются более высокие оксиды азота (NO_3), которые с водяным паром образуют пары азотной кислоты. При взаимодействии с аммиаком, который вводится в газоход до стадии облучения, получают твердый нитрат.

Этот способ позволяет улавливать до 90 % оксидов азота.

Достоинствами способа являются:

- 1) отсутствие отходов;
- 2) получение товарных продуктов;
- 3) возможность удобного размещения установки на действующих электростанциях.

К недостаткам ЭЛС следует отнести:

- 1) высокие капитальные затраты;
 - 2) необходимость дополнительной очистки уходящих газов от твердых частиц нитрата аммония;
 - 3) психологическое воздействие на людей понятия «радиационная защита».
- За рубежом способ находится в стадии исследования.

Ввиду дороговизны данного способа, дополнительных эксплуатационных трудностей при работе с радиационно-опасным объектом строительство подобной установки в России в 1999 г. было приостановлено.

Тема 6. Очистка дымовых газов ТЭС от оксидов серы

План:

1. Классификация методов снижения содержания оксидов серы в дымовых газах ТЭС.
2. Метод мокрой десульфуризации дымовых газов: принцип действия, технологические схемы, основные технические характеристики.
3. Мокросухой метод распылительной абсорбции: принцип действия, технологические схемы, основные технические характеристики.
4. Сухой метод: принцип действия, технологические схемы, основные технические характеристики.

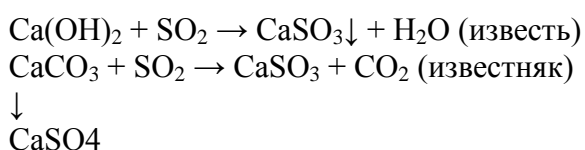
1. Классификация методов снижения содержания оксидов серы в дымовых газах ТЭС

Методы очистки газов от оксида серы подразделяются на:

- циклические (абсорбент регенерируется и возвращается в цикл, а уловленный диоксид серы используется);
 - нециклические (регенерация сорбента и других веществ не производится).
- Кроме того методы очистки подразделяются на сухие и мокрые.

2. Метод мокрой десульфуризации дымовых газов: принцип действия, технологические схемы, основные технические характеристики

Мокрый известковый (известняковый) метод – нециклический. Обеспечивает очистку газов на 90 %. Метод основан на нейтрализации сернистой кислоты, которая получается в результате растворения SO₂ щелочными реагентами - известью или известняком:



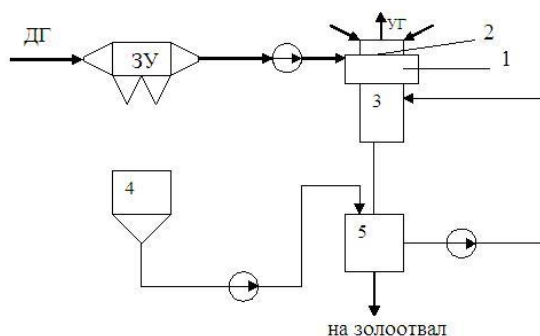
Дымовые газы после ВЗП (рисунок 7) направляются в золоуловитель, затем дымососом направляются в скруббер для очистки от сернистого газа.

Скруббер орошается водой, которая содержит мелкоразмолотый известняк и продукты нейтрализации. Очищенные газы освобождаются от брызг раствора в брызгоуловителе, подогреваются в теплообменнике и выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу. К вытекающей из скруббера закисленной жидкости добавляется свежая жидкость. С течением времени в орошающей жидкости накапливаются кристаллы сульфата кальция и остатки летучей золы. Когда концентрация твердых частиц достигает (10-15) % от массы жидкости, часть суспензии отводится из цикла на золоотвал.

При всех мокрых способах очистки температура уходящих газов понижается с 130 °С до 50 °С. Подогрев газов осуществляется теплотой неочищенных газов для обеспечения рассеивания после выхода газов из дымовой трубы.

Недостатки способа: сульфид кальция загипсовывает трубы; капли суспензии, орошающие скруббер содержат много взвешенных частиц, которые, осаждаясь, на поверхности элементов

брызгоуловителя с течением времени образуют трудноудаляемые отложения, которые увеличивают гидравлическое сопротивление аппарата, что требует периодической очистки; сложность процесса; большие инвестиционные расходы; большая занимаемая площадь.



1 – брызгоуловитель; 2 – подогреватель; 3 – скруббер; 4 – бак приготовления суспензии; 5 – промежуточная емкость

Рисунок 7 – Схема мокрого способа сероочистки

3. Мокросухой метод распылительной абсорбции: принцип действия, технологические схемы, основные технические характеристики

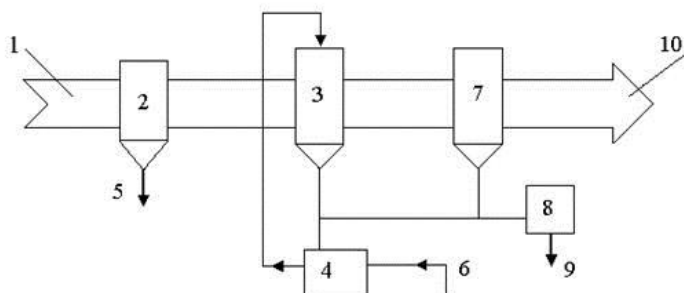
Мокросухой метод – нециклический способ, в основе метода поглощение сернистого газа из дымовых газов неиспаряющихся каплями известкового раствора. Эффективность метода более 90 %.

Отличительная особенность метода: в процессе участвует такое количество известкового молока, чтобы оно полностью испарилось

Сухие продукты реакции осаждаются в пылезолоуловителе (рисунок 8), а газы, очищенные от сернистого газа поступают в дымовую трубу. В узле 8 смесь термическим окислителем перерабатывается в конечный продукт – строительный материал.

Преимущества: получения продукта в сухом виде, отсутствие сточных вод, высокая степень использования реагента – извести, умеренное аэродинамическое сопротивление.

Недостатки: метод дорогой, т.к. используется только высококачественная известь; установка занимает много места; необходимость в точной дозировке реагента.



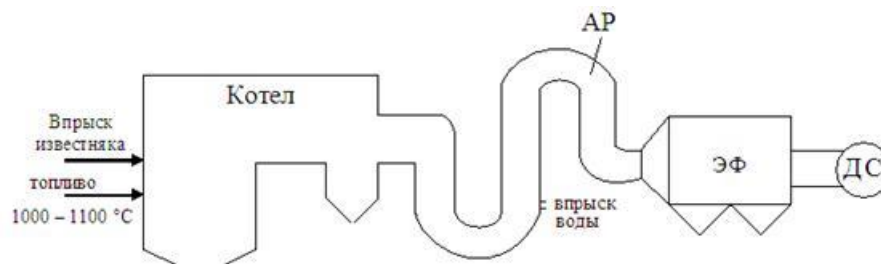
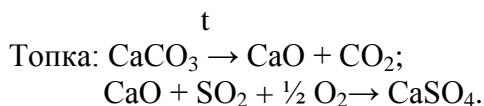
1- уходящие дымовые газы с температурой 130-150 оС; 2 - золоуловитель для предпочистки газов; 3 – сушилка-реактор; 4 - промежуточная ёмкость; 5 – летучая зола; 6 – подача раствора извести; 7 - пылезолоуловитель; 8 – узел термической переработки смеси сульфита и сульфата кальция в конечный продукт; 9 – конечный продукт; 10 – очищенные дымовые газы.

Рисунок 8 – Схема мокросухого способа очистки от оксидов серы

4. Сухой метод: принцип действия, технологические схемы, основные технические характеристики

Сухой известковый метод – наиболее простой и требует наименьших капиталовложений.

Суть метода: Добавление к сжигаемому топливу известняка (CaCO_3) или доломита ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) в количестве примерно в 2 раза превышающем стехиометрически содержание серы в исходном топливе.

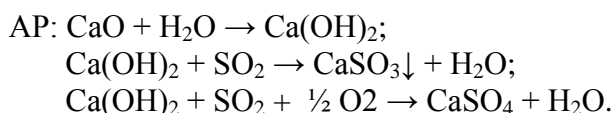


АР – активационный реактор; ЭФ – электрофильтр; ДС – дымосос

Рисунок 9 – Схема сухого известкового метода

Часть двуокиси серы реагирует в топке с образовавшимся CaO , но большая часть в этой стадии ещё не реагирует. Непрореагировавший кальций активизируется в отдельном реакторе (рисунок 9) путем повышения влажности дымовых газов.

Распыление воды создает реакционно способные условия, которые позволяют значительно повысить коэффициент использования кальция.



Продукт реакции – сухой порошок, который при сжигании угля смешивается с летучей золой и удаляется из дымовых газов в ЭФ.

Орошение дымовых газов улучшает также эффективность работы ЭФ, ввиду чего уровень пылевых выбросов после ЭФ ниже, чем при сжигании одного угля.

Достоинства: простота, нет рециркуляции, нет сточных вод, конечный продукт сухой, высокая степень улавливания сернистого газа от (45 – 90) %, работает на разных видах топлива, не зависит от типа котла, не занимает много места, экономичность, небольшие инвестиционные расходы, использование дешевого абсорбента – известняка.

Недостатки: образование прочных отложений золы и сульфата кальция на поверхности нагрева.

Тема 7. Методы, обеспечивающие одновременно очистку дымовых газов ТЭС от оксидов азота и серы

План:

1. Классификация методов.
2. Основные методы одновременной очистки дымов газов от оксидов серы и азота.

1. Классификация методов

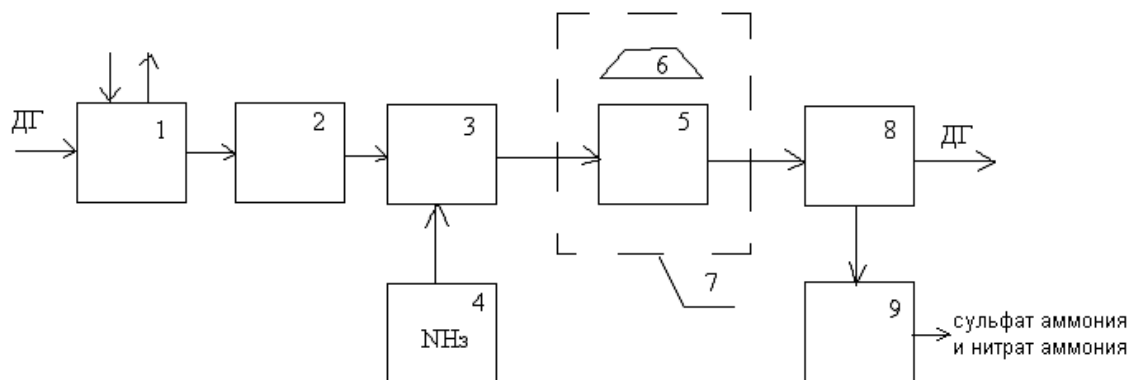
Основные методы одновременной очистки дымов газов от оксидов серы и азота, которые нашли практическое применение это:

- сухие методы, к которым относят электронно-лучевой метод и метод использования активированного кокса;
- мокрые методы (озонный метод).

2. Основные методы одновременной очистки дымов газов от оксидов серы и азота

Электронно-лучевой метод

Данный метод разработан в Германии. В России применяется на ТЭЦ № 15 Ленэнерго. Структурная схема электронно-лучевой очистки дымовых газов приведена на рисунке 10.



ДГ – дымовые газы

- 1 – теплообменник; 2 – электрофильтры; 3 – смеситель (перемешивание ДГ с аммиаком);
4 – узел хранения, подготовки и подачи аммиака; 5 – реактор; 6 – ускоритель электронов;
7 – радиационная защита; 8 – фильтр; 9 – гранулятор

Рисунок 10 - Структурная схема электронно-лучевой очистки дымовых газов

Под действием облучения β -частицами в газовой смеси (дымовые газы и аммиак) образуются радикалы O^{\cdot} с последующим окислением SO_2 и NO до SO_3 и NO_2 и образованием при наличии паров воды (продукт окисления органического топлива) азотной HNO_3 и серной H_2SO_4 кислот. Наличие в газовой смеси аммиака приводит к образованию нитрата аммония NH_4NO_3 и сульфата аммония $(NH_4)_2SO_4$, которые являются удобрениями и широко используются в сельском хозяйстве.

Узел хранения, подготовки и подачи аммиака 4 должен обеспечить соотношение $C_{NH_3}/(C_{NO_x}+C_{SO_2}) < 1$, при этом содержание аммиака на выходе из дымовой трубы не должно превышать $C_{NH_3} \leq 5$ ppm.

Коэффициент очистки метода составляет по:

- (SO_x – 80) %;
- (NO_x – 95) %.

Эффективность очистки дымовых газов ТЭС зависит от:

- дозы облучения дымовых газов;
- количества аммиака;
- температуры газа.

Для работы очистной установки требуется (2-5) % электрической энергии, вырабатываемой тепловой станцией. Капитальные затраты на реализацию очистной установки составляют 400\$/кВт. Эксплуатационные затраты – 0,013 \$/кВт.

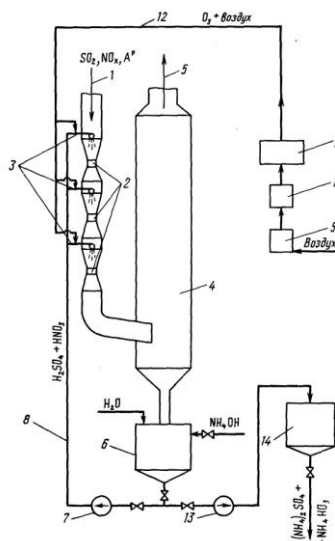
Озонный метод

Озонный метод одновременной очистки дымовых газов от оксидов серы и азота. Все рассмотренные выше способы позволяют очищать дымовые газы ТЭС только от диоксида серы, а также от хлористых и фтористых соединений. Что же касается оксидов азота, присутствующих в дымовых газах на (90—95) % в виде монооксида, то они улавливаются в незначительном количестве. Это объясняется тем, что реакционная способность оксида азота на три порядка меньше по сравнению с реакционной способностью диоксида серы. Озонный способ позволяет производить окисление озоном низших оксидов азота и отчасти серы с последующим связыванием аммиаком.

Принципиальная схема опытно-промышленной установки (ОПУ) для очистки дымовых газов от SO_2 и NO , озонным методом, приведена на рисунке 10.

Дымовые газы от энергоблока мощностью 200 МВт, сжигающего донецкие угли, пройдя очистку от золы в мокром золоуловителе с эффективностью (94—96) %, по газоходу направляются на ОПУ. В качестве абсорбционного устройства использован аппарат, состоящий из трехступенчатого коагулятора Вентури и каплеуловителя. Газы поступают в коагулятор, куда одновременно через двухканальные эжекционные форсунки подаются орошающая жидкость и озон. В капле-уловителе происходит разделение двухфазного потока: очищенные дымовые газы направляются в дымовую трубу, а орошающая жидкость — в циркуляционную емкость. Затем раствор циркуляционными насосами вновь подается на орошение газов в коагулятор Вентури. В результате окисления озоном низшие оксиды азота NO и NO_2 переходят в высшие, главным образом в N_2O_5 . Одновременно окисляется и диоксид серы до SO_3 . При контакте с водой образуется смесь азотной и серной кислот. Эту смесь нейтрализуют вводом аммиачной воды в циркуляционную емкость. Полученные в результате нейтрализации кислоты нитриты и сульфаты выводят из цикла для последующего использования в качестве удобрений смеси из аммиачной селитры NH_4NO_3 и сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Одновременно эти удобрения обогащаются биогенными микроэлементами из золы (медь, марганец, бор, фосфор и др.), которые стимулируют рост растений.

Основные недостатки озонного метода: высокая энергоемкость производства озона, достигающая (6—10) % мощности энергоблока и коррозионная агрессивность смеси серной и азотной кислот.



- 1 - подача дымовых газов на ОПУ; 2 - трехступенчатый коагулятор Вентури; 3 - форсунки; 4 - каплеуловитель; 5 - отвод очищенных дымовых газов; 6 - циркуляционная емкость; 7 - насос; 8 - подача поглотительного раствора; 9 - узел очистки воздуха; 10 - узел осушки воздуха; 11 - озонатор; 12 - подача озона; 13 - насос; 14 - бак готовой продукции

Рисунок 10 - Принципиальная схема опытно-промышленной установки (ОПУ) для очистки дымовых газов от SO_2 и NO , озонным методом

Метод использования активированного кокса

Адсорбция происходит в результате взаимодействия поверхностных сил притяжения адсорбируемой молекулы и часто сопровождается капиллярной конденсацией и хемосорбцией. С ростом температуры адсорбция снижается. Вещества с низкой температурой кипения адсорбируются хуже, чем с высокой. Интенсивность адсорбции повышается с увеличением молекулярной массы, поэтому NO_2 адсорбируется интенсивнее, чем NO .

На интенсивность адсорбции влияет пористость сорбента. Оптимальная пористость находится в пределах (0,4 - 0,8) нм. Чем ниже концентрация NO_x в дымовых газах, тем больше необходимо времени пребывания газа в адсорбере. При концентрации NO_x на входе 0,2 % степень поглощения NO_x достигает (95 - 98) %.

В качестве адсорбентов применяют приготовленные из каменноугольного кокса активированные угли, древесный уголь, активированный полукокс бурых углей и торфа. В качестве десорбента - воду или водяной пар. При десорбции получается азотная кислота и концентрированный оксид азота.

Определенный эффект дает применение молекулярных сит - минералов с азотами калия или натрия в структуре с пористостью, соизмеримой с размерами молекул. Десорбция подобных цеолитов осуществляется продувкой их горячим воздухом. При этом существенно возрастает концентрация NO_x в продуваемом воздухе, что позволяет получить азотную кислоту концентрацией до 50 %. Применение адсорбционных методов также связано со значительными капитальными затратами и трудностью сбыта получаемых продуктов.

Активированный кокс производится из определённых марок углей. В таблице 1 приведены основные характеристики активированного кокса.

Таблица 1 - Характеристики активированного угля

№ n/n	Характеристики	Параметры
1	Исходный материал	Битуминозный уголь
2	Форма	Цилиндрическая
3	Размер, мм	4 - 6
4	Ср. плотность, кг/м ³	470 - 700
5	Время пребывания, с	10
6	Цена, \$/т	2000
7	Рабочая t, °C	70 - 150
8	Скорость газов через активированный уголь, м/с	0,25

Структурная схема электронно-лучевой очистки дымовых газов приведена на рисунке 11.

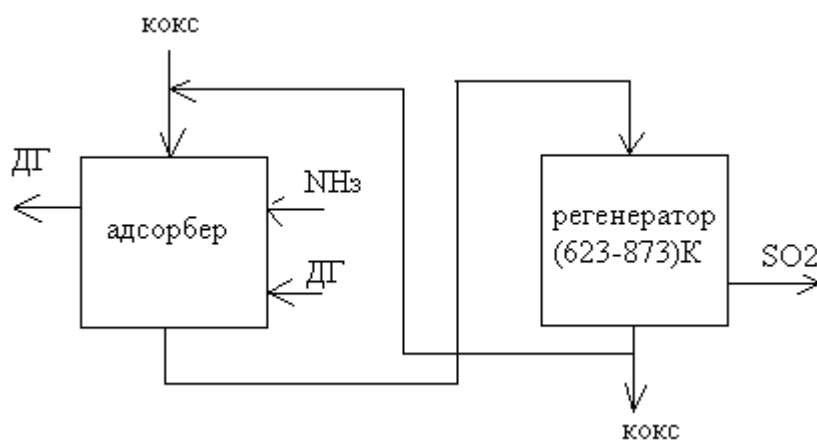
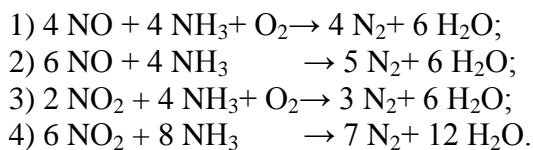


Рисунок 11 - Структурная схема очистки дымовых газов методом активированного кокса

В данном методе используются как адсорбционные, так и каталитические свойства активированного кокса. По отношению к SO_2 (газ) он обладает адсорбционными свойствами, а к NO_x выступает как катализатор. При этом оксиды азота при наличии в газовой смеси аммиака восстанавливаются до N_2 :



Коэффициент очистки метода составляет по:

- SO_x – (90 – 98) %;
- NO_x – (70 – 80) %.

Подача аммиака должна быть обеспечена таким образом, чтобы содержание аммиака на выходе из дымовой трубы не превышало $\text{C}_{\text{NH}_3} \leq 5$ ppm.

Для регенерации кокса в регенераторе его нагревают до температуры (623-873) °К. Выделившийся газ SO_2 собирается и может быть использован, например, для производства серной кислоты, серы.

Капитальные затраты на реализацию очистной установки составляют 250 \$/кВт. Эксплуатационные затраты – 0,9 \$/кВт.

Тема 8. Сточные воды ТЭС

План:

1. Классификация сточных вод электростанций и их влияние на водоемы.
2. Процессы, протекающие в водоемах, и условия сброса сточных вод.
3. Прямоточное и обратное водоснабжение предприятий.

1. Классификация сточных вод электростанций и их влияние на водоемы

Эксплуатация тепловых электрических станций связана с использованием большого количества воды. Основная часть воды (более 90%) расходуется в системах охлаждения различных аппаратов: конденсаторов турбин, масло - и воздухоохладителей, движущихся механизмов и др.

Сточной водой является любой поток воды, выводимый из цикла электростанции.

К сточным, или сбросным, водам кроме вод систем охлаждения относятся:

- сбросные воды систем гидрозолоулавливания (ГЗУ);
- отработавшие растворы после химических промывок теплосилового оборудования или его консервации;
- регенерационные и шламовые воды от водоочистительных (водоподготовительных) установок;
- нефтезагрязненные стоки, растворы и суспензии, возникающие при обмывах наружных поверхностей нагрева, главным образом воздухоподогревателей и водяных экономайзеров котлов, сжигающих сернистый мазут.

Составы перечисленных стоков различны и определяются типом ТЭС и основного оборудования, ее мощностью, видом топлива, составом исходной воды, способом водоподготовки в основном производстве и, конечно, уровнем эксплуатации.

Воды после охлаждения конденсаторов турбин и воздухоохладителей несут, как правило, только так называемое тепловое загрязнение, так как их температура на (8-10) °С превышает температуру воды в водоисточнике. В некоторых случаях охлаждающие воды могут вносить в природные водоемы и посторонние вещества. Это обусловлено тем, что в систему охлаждения включены также и маслоохладители, нарушение плотности которых может приводить к

проникновению нефтепродуктов (масел) в охлаждающую воду. На мазутных ТЭС образуются сточные воды, содержащие мазут.

Так как сбросы воды из систем охлаждения оборудования ТЭС несут в основном «тепловое» загрязнение следует иметь в виду, что температура оказывает мощное воздействие на биоценоз в водоеме. С одной стороны, температура оказывает прямое влияние на скорость протекания химических реакций, с другой - на скорость восстановления дефицита кислорода. При повышении температуры ускоряются процессы размножения гидробионтов.

Восприимчивость живых организмов к токсичным веществам с повышением температуры обычно увеличивается. При повышении температуры до +30 °С сокращается прирост водорослей, поражается фауна, рыбы становятся малоподвижными и перестают кормиться. Кроме того, с ростом температуры уменьшается растворимость кислорода в воде.

Резкий перепад температур, который возникает при сбросе в водоем нагретых вод, приводит к гибели рыбы и представляет серьезную угрозу рыбному хозяйству. Влияние сточных вод, температура которых на (6-9) °С выше температуры речной воды, губительно даже для рыб, адаптированных к летней температуре до + 25 °С.

2. Процессы, протекающие в водоемах, и условия сброса сточных вод

Работа промышленных предприятий связана с потреблением воды. Вода используется в технологических и вспомогательных процессах или входит составной частью выпускаемой продукции. При этом образуются сточные воды, которые подлежат сбросу в близлежащие водные объекты. Сброс сточных вод в водоем недопустим, если $S_f \geq ПДК$. Согласно нормативным документам (например, СанПиН 2.1.5.980-00. 2.1.5 «Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.06.2000, с изм. от 04.02.2011, с изм. от 25.09.2014) запрещается сбрасывать в водные объекты сточные воды, которые:

- могут быть устранены путем организации малоотходных производств, рациональной технологии, максимального использования в системах оборотного и повторного водоснабжения после соответствующей очистки и обеззараживания в промышленности, городском хозяйстве и для орошения в сельском хозяйстве;

- содержат возбудителей инфекционных заболеваний бактериальной, вирусной и паразитарной природы;

- содержат вещества, для которых не установлены гигиенические ПДК или ОДУ;

- содержат чрезвычайно опасные вещества, для которых нормативы установлены с пометкой «отсутствие».

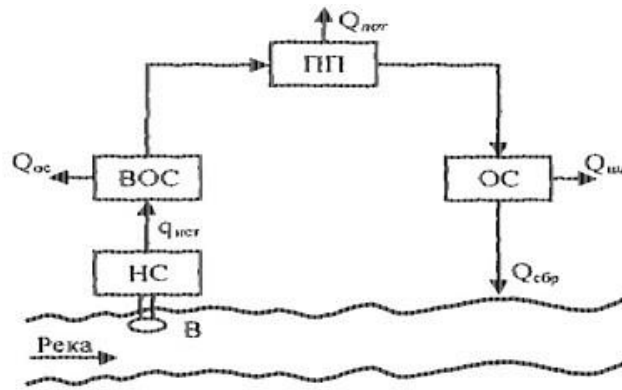
Запрещается сброс сточных вод в границах зон санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, рыбоохраненных зон, рыбохозяйственных заповедных зон и в некоторых других случаях.

Сточные воды можно сбрасывать в водные объекты при условии соблюдения гигиенических требований применительно к воде водного объекта в зависимости от вида водопользования.

3. Прямоточное и оборотное водоснабжение предприятий

При прямоточной системе вся вода, отработавшая в производстве, без учета потерь и безвозвратного потребления, сбрасывается в городской коллектор отведения воды или в водоем после предварительной очистки (см. рисунок 12).

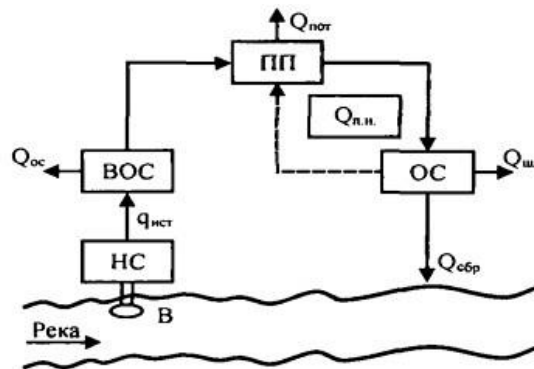
Под безвозвратным потреблением понимают расход воды в результате утечек, испарения, разбрызгивания и потребления продуктом производства.



В - водозаборный узел; НС - насосная станция; ВОС - водопроводные очистные сооружения; ПП - промышленное предприятие; ОС - очистные сооружения сточных вод; $q_{\text{чист}}$ - забираемый из источника расход воды м. куб/сут; $Q_{\text{ос}}$ - потери воды на ВОС, м. куб/сут; $Q_{\text{шл}}$ - потери воды на ОС, м. куб/сут; $Q_{\text{пот}}$ - безвозвратные потери воды и безвозвратное водопотребление, м. куб/сут; $Q_{\text{сбр}}$ - расход воды, после очистки сбрасываемой в водоем, м. куб/сут.

Рисунок 12– Схема прямоточного использования воды

Оборотное водоснабжение (см. рисунок 13) подразумевает повторное использование в производстве очищенной сточной воды. Вода, отработанная на этом или другом предприятии, после соответствующей обработки и очистки используется для технологических нужд при условии ее качественного соответствия технологическим требованиям.



НС - насосная станция; ВОС - водопроводные очистные сооружения; ; ПП - промышленное предприятие; ОС - очистные сооружения сточных вод для отдельных цехов предприятия; $q_{\text{чист}}$ - забираемый из источника расход воды м.куб/сут; $Q_{\text{сбр}}$ - расход воды, после очистки сбрасываемой в водоем, м. куб/сут. $Q_{\text{шл}}$ - потери воды на ОС, м.куб/сут; $Q_{\text{пот}}$ - безвозвратные потери воды и безвозвратное водопотребление, м. куб/сут; $Q_{\text{п.п.}}$ - расход воды повторного использования, м. куб/сут.

Рисунок 13 – Схема оборотного водоснабжения

Тема 9. Методы очистки сточных вод ТЭС

План:

1. Методы очистки сточных вод.
2. Обработка сточных вод водоподготовительных установок.

3. Очистка сточных вод от нефтепродуктов.
4. Очистка вод обмывок поверхностей нагрева котла.
5. Очистка сточных вод химических промывок и консервации оборудования.
6. Обезвреживание сточных вод систем гидрозолоудаления.

1. Методы очистки сточных вод

Очистка сточных вод - обработка сточных вод с целью разрушения или удаления из них вредных веществ.

Методы очистки сточных вод можно разделить на:

- механические;
- химические;
- физико-химические;
- биологические.

Очистка сточных вод проходит последовательно.

На начальном этапе, сточные воды очищают от нерастворенных загрязнений, а потом от растворенных органических соединений.

Химической очисткой очищают производственные сточные воды (химическое производство, ТЭС).

Физико-химические методы очистки сточных вод можно проводить до биохимической очистки и после биохимической очистки.

Дезинфекцию, как правило, проводится уже в конце процесса обработки сточных вод.

2. Обработка сточных вод водоподготовительных установок.

Непосредственный сброс сточных вод водоподготовительных установок (ВПУ) в водоемы невозможен из-за резко-переменных значений рН, выходящих за пределы (6,5-8,5), оптимальных для воды в водоемах, а также высокого содержания в них грубодисперсных примесей и солей. Очистка таких вод должна сводиться к удалению основной части солей, грубодисперсных примесей и коррекции их рН в соответствии с условиями, предъявляемыми санитарными нормами, регулирующими сбросы сточных вод в водоемы.

Одной из основных задач при подготовке воды на водоподготовительных установках следует считать уменьшение сброса сточных вод. Основными направлениями решения этой задачи являются:

- разработка новых прогрессивных методов и схем подготовки воды на ТЭС, внедрение которых позволит значительно уменьшить количество потребляемых реагентов;
- разработка мероприятий, позволяющих сократить сбросы сточных вод с существующих установок;
- разработка эффективных методов и схем регенерации реагентов из сточных вод водоподготовительных установок.

В настоящее время сточные воды водоподготовительных установок в основном корректируются по величине рН, и в некоторых случаях из них непосредственно выделяются грубодисперсные примеси.

Сточные воды водоподготовительных установок состоят из сточных вод предочисток воды и сточных вод ионообменных установок.

Сточную воду предочисток (продувку осветлителей) рекомендуется:

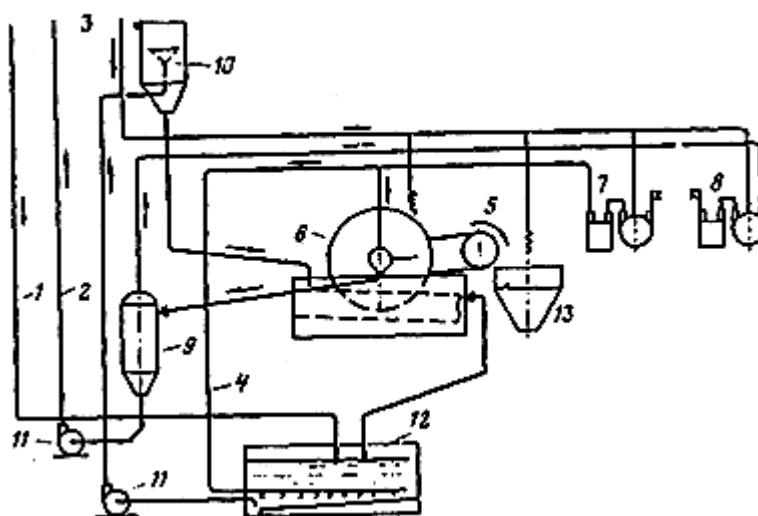
- отводить в систему гидрозолоудаления;
- направлять (при рН>9) на нейтрализацию кислых стоков ВПУ;
- направлять для отстаивания на шламоотвал при близком расположении его от ТЭС с возвратом осветленной воды для повторного использования в качестве промывочной воды механических фильтров;
- направлять в отстойники периодического действия с возвратом осветленной воды для повторного использования в качестве промывочной воды механических фильтров.

Более рациональны схемы с обезвоживанием шлама на пресс-фильтрах или барабанно-вакуумных фильтрах. При этом на водоподготовительные установки возвращается максимально возможное количество осветленной воды, которая может быть направлена непосредственно на ионообменные фильтры или использована на предочистке. Одновременно существенно сокращается потребная площадь для шламоотвала за счет более низкого (30-40)% содержания воды в шламе.

Принципиальная схема установки для обезвоживания шлама продувки осветлителей приведена на рисунке 14.

Принцип работы:

Продувочная вода из осветлителя направляется в сборную емкость. Для предупреждения осаждения шлама в этой емкости через продувочную воду барботируется воздух. Затем вода перекачивается в бак постоянного уровня и поступает в вакуум-фильтр, в котором происходит отделение шлама.



1 - подвод шлама; 2 - осветленная вода по ВПУ; 3 - техническая вода; 4 - воздух; 5 - обезвоженный шлам; 6 - барабанно-вакуумный фильтр; 7 - воздуходувка; 8 - вакуум-насос; 9 - ресивер; 10 - бак постоянного уровня; 11 - насос; 12 - емкость; 13 - бункер для обезвоженного шлама

Рис. 14 - Принципиальная схема установки для обезвоживания шлама продувки осветлителей

Обезвоженный шлам сбрасывается в бункер и затем направляется на шламоотвал. Вода после отделения шлама возвращается на ВПУ. При использовании вакуум-фильтра ВУ-10-2,6 с поверхностью фильтрования 10 м^2 на установке обрабатывается около $170 \text{ м}^3/\text{сут}$ продувочной воды, что соответствует производительности предочистки 500—600 м³/ч. При этом практически вся продувочная осветленная вода вторично используется в схеме ВПУ.

Сброс сточных вод предочистки в системы гидрозолоудаления возможен лишь на ТЭС, использующих твердое топливо.

Недостатком сброса сточных вод с водоподготовительных установок в систему гидрозолоудаления является невозможность их использования после отделения примесей на дальнейшей стадии очистки воды.

Расчеты и опытные данные показывают, что в подавляющем большинстве случаев сточные воды ионообменной части ВПУ после смешения сбросов регенеративных вод от катионитных

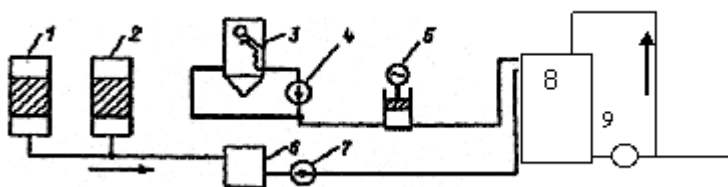
и анионитных фильтров имеют кислую реакцию. Поэтому для их нейтрализации применяют щелочные реагенты: доломит, мраморную крошку, щелочи, известь.

Нейтрализация известью удобна тем, что при этом не наблюдается резкого повышения солевого содержания воды, как при применении других реагентов.

Хорошие результаты получены также при нейтрализации сточных вод аммиачной водой. При этом потребные дозы аммиака невелики и солевое содержание нейтрализованной воды не превышает ее солевое содержание после обработки известью, однако без образования примесей, что значительно удобнее в эксплуатации.

Технологически процесс нейтрализации организуется в баках-нейтрализаторах и состоит в заполнении баков кислыми и щелочными водами, подаче определенного количества нейтрализующего раствора и перемешивании жидкости в баке до установления постоянства рН нейтрализованной воды. Перемешивание проводится сжатым воздухом при его расходе (0,4-0,8) м³ на 1 м² поперечного сечения бака-нейтрализатора.

Схема нейтрализации известью сточных вод водоподготовительных установок приведена на рисунке 15.



1 - Н-катионитный фильтр; 2 - анионитный фильтр; 3 - известковая мешалка; 4 - насос известковой мешалки; 5 - насос-дозатор известкового молока; 6 - приямок сбора регенерационных вод; 7 - перекачивающий насос; 8 - бак нейтрализации; 9 - насос перекачивания и сброса

Рисунок 15 - Схема нейтрализации известью сточных вод водоподготовительных установок

3. Очистка сточных вод от нефтепродуктов

Для очистки сточных вод от нефтепродуктов применяются методы отстаивания, флотации и фильтрования.

Метод отстаивания основан на способности самопроизвольного разделения воды и нефтепродуктов. Частицы нефтепродуктов под действием сил поверхностного натяжения приобретают сферическую форму, и их размеры находятся в диапазоне от 2 до 3×10^2 мкм. Величина, обратная размеру частицы, называется степенью дисперсности. В основе процесса отстаивания лежит принцип выделения нефтепродуктов под действием разности плотностей воды и частиц масла. Содержание нефтепродуктов в стоках находится в широких пределах и составляет в среднем 100 мг/л.

Отстаивание нефтепродуктов производится в нефтеловушках.

Значительное влияние на эффективность работы нефтеловушки оказывает температура воды. Увеличение температуры воды приводит к снижению ее вязкости, что способствует улучшению условий выделения частиц. Например, мазут при температуре воды ниже 30 °С оседает в нефтеловушке, в интервале (30-40) °С частицы мазута находятся во взвешенном состоянии и лишь выше 40 °С проявляется эффект всплытия частиц.

Флотационный метод очистки воды заключается в образовании комплексов частица нефтепродуктов - пузырек воздуха с последующим выделением этих комплексов из воды. Скорость всплытия таких комплексов в (10^2 - 10^3) раз превышает скорость всплытия частиц нефтепродуктов. По этой причине флотация гораздо эффективнее отстаивания.

Различают напорную флотацию, при которой пузырьки воздуха выделяются из пересыщенного раствора его в воде, и безнапорную, которая осуществляется при помощи пузырьков воздуха, вводимых в воду специальными устройствами.

Фильтрация замазученных и замасленных вод осуществляется на заключительной стадии очистки.

При фильтрации сточных вод частицы нефтепродуктов выделяются из потока воды на поверхности зерен фильтрующего материала и заполняют наиболее узкие поровые каналы.

Традиционными материалами для загрузки фильтров являются кварцевый песок и антрацит. Иногда применяют сульфуголь, отработанный в Na-катионитовый фильтр. В последнее время применяют доменный и мартеновский шлак, керамзит, диатомит.

Эффективность очистки сточных вод в насыпных фильтрах от нефтепродуктов составляет около 80 %. Содержание нефтепродуктов составляет (2-4) мг/кг, что значительно превышает ПДК. Вода с таким качеством может направляться для технологических целей ТЭС. В ряде случаев этот фильтрат необходимо доочистить на сорбционных (загруженных активированным углем) или намывных фильтрах.

4. Очистка вод обмывок поверхностей нагрева котла

Воды от обмывки наружных поверхностей нагрева образуются только на ТЭС, использующих в качестве основного топлива сернистые мазуты. Зольные элементы, образующиеся при сгорании мазута, обладают большой липучестью и оседают преимущественно на поверхности элементов воздухоподогревателей, которые вследствие этого приходится регулярно очищать. Периодически очистка совершается путем обмывок; их результатом является обмывочная жидкость, содержащая свободную серную кислоту и сульфаты железа, ванадия, никеля, меди и натрия. В качестве незначительной примеси в этой жидкости присутствуют и другие металлы.

Обезвреживание этих обмывочных растворов сопровождается получением шламов, содержащих ценные вещества - ванадий, никель и т. д.

При эксплуатации водоочисток на электростанциях возникают стоки от промывок механических фильтров, от удаления шламовых вод осветлителей и в результате регенерации катионитных и анионитных материалов.

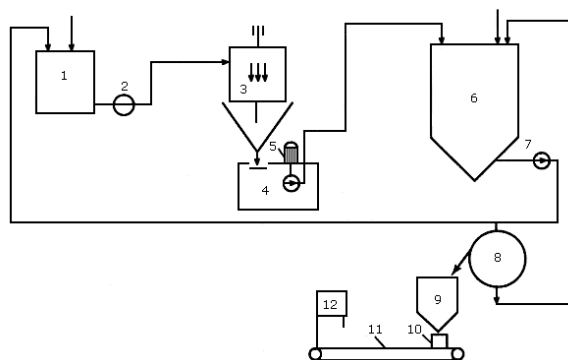
Промывочные воды содержат только нетоксичные осадки - карбонат кальция, гидроокиси магния, железа и алюминия, кремнекислоту, органические, преимущественно гуминовые вещества, глинистые частицы. Поскольку все эти примеси не обладают токсичным свойством, то эти стоки могут быть сброшены после отделения шлама в водоёмы. На современных ТЭС эти воды после некоторого осветления возвращают на водоочистку, а именно - в головную её часть.

Регенерационные стоки содержат в растворе значительное количество солей кальция, магния и натрия.

На первой стадии нейтрализации обмывочных вод используется щелочь для создания рН (4,5-5,5). При таком рН ванадий в виде пентавалентного оксида и гидроксид трехвалентного железа выпадают в осадок, а ионы меди и никеля остаются в растворе. Раствор с осадком V_2O_5 отфильтровывается на фильтр-прессе. Фильтрат возвращается в бак-нейтрализатор для проведения второй стадии нейтрализации, а обезвоженный осадок из фильтра (8) (см. рисунок 16) попадает в бункер-накопитель, из него в мешок на конвейере, далее мешок зашивается и отгружается на металлургические заводы для извлечения ценного ванадиевого сырья. Использование традиционного нейтрализующего вещества $Ca(OH)_2$ на первой стадии привело бы к тому, что ванадиевый осадок, содержащийся в небольших количествах, был бы сильно загрязнен гипсом ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), что затрудняет выделение ванадия при переработке шлама на металлургических предприятиях.

На второй стадии нейтрализации в бак добавляется известковое молоко и значение рН повышают до (9,5-10) единиц. На этом этапе нейтрализации в осадок выпадают гидроксиды никеля, меди, двухвалентного железа и сульфат кальция, которые отделяются от раствора при фильтрации. Осветленная вода повторно используется для обмывки конвективных

поверхностей нагрева, причем повышенное значение рН обмывочной воды способствует уменьшению коррозии обмывочного тракта. Маловодный шлам после фильтра подвергается захоронению.



1 – бак сбора очищенных обмывочных вод; 2, 7 – насос; 3 – РВП или конвективные поверхности нагрева котла; 4 – подземный бак сбора обмывочных вод; 5 – погружной насос; 6 – бак-нейтрализатор; 8 – фильтр-пресс; 9 – бункер-накопитель осадка; 10 – мешок со шламом; 11 – конвейер; 12 – мешкозашивочная машина

Рисунок 16 – Схема обезвреживания обмывочных вод РВП

5. Очистка сточных вод химических промывок и консервации оборудования

Сточные воды от предпусковых (после окончания монтажа) и эксплуатационных химических промывок и консервации оборудования представляют резкие, «залповые» сбросы с большим разнообразием содержащихся в них веществ.

Различают два основных варианта очистки отмывочных и консервационных вод:

- на ТЭС, работающих на жидком и газообразном топливе, а также на угольных ТЭС с разомкнутой (прямоточной) системой ГЗУ;

- на ТЭС, работающих на твердом топливе с оборотной системой ГЗУ.

Стоки первоначальных водных промывок оборудования, загрязненные продуктами коррозии и механическими примесями, направляются в первую секцию открытого бассейна. После отстаивания осветленная вода из первой секции должна перепускаться во вторую - усреднитель бассейна. В эту же секцию отводятся стоки с рН=(6-8) от водных промывок после завершения операции по вытеснению кислых и щелочных растворов.

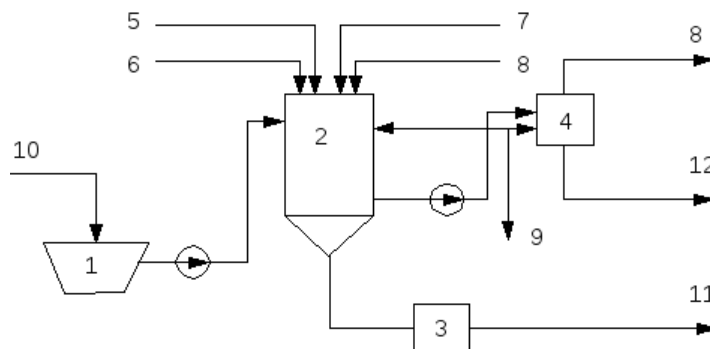
Вода из секции-усреднителя должна повторно использоваться для подпитки оборотных систем водоснабжения или ГЗУ (рисунок 17).

Для обезвреживания промывочных и консервирующих растворов, содержащих нитриты, можно использовать кислые промывочные растворы или производить обработку растворов кислотой. При этом следует учитывать, что при разрушении нитритов образуются газы NO и NO₂, плотность которых выше плотности воздуха. Поэтому доступ в емкость, в которой проводилось обезвреживание растворов, содержащих нитрит, может быть разрешен только после тщательной вентиляции этой емкости и проверки ее на загазованность.

Гидразин и аммиак, содержащиеся в сточных водах, могут быть разрушены обработкой растворов хлорной известью (рисунок 18). При этом гидразин окисляется хлорной известью с образованием свободного азота. Для практически полного разрушения гидразина количество хлорной извести должно быть увеличено по сравнению со стехиометрическим примерно на 5 %.

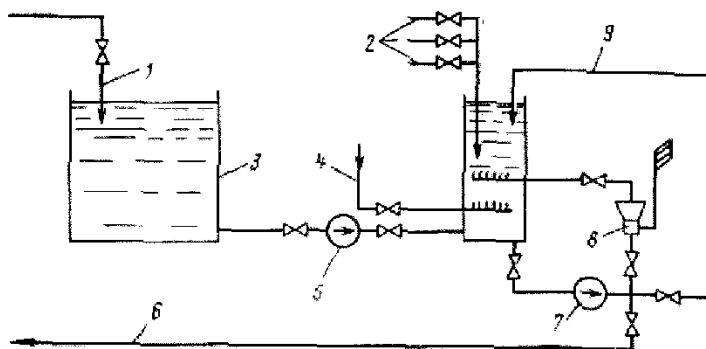
Технология очистки стоков от фтора заключается в обработке известью и серноокислым глиноземом в следующем соотношении: на 1 мг фтора - не менее 2 мг Al₂O₃. Остаточное содержание фтора достигается не более (1,4-1,6) мг/л.

Осветленная вода из бака для коррекции рН отправляется на биохимическую очистку, являющуюся универсальным методом очистки.



1 - бак; 2 - бак-нейтрализатор; 3 - шламоотстойник; 4 - бак для коррекции рН; 5 - подача известкового молока; 6 - подача хлорной извести; 7 - подача сульфида натрия (Na₂S); 8 - серная кислота; 9 - подача воздуха; 10 - вода на очистку; 11 - вода на фильтр-пресс; 12 - сброс

Рисунок 17 – Схема очистки промывочных сточных вод



1 - сброс консервирующего раствора; 2 - подвод реагентов; 3 - бак сбора консервирующего раствора; 4 - подвод греющего пара; 5 - насос; 6 - сброс обезвреженного раствора; 7 - циркуляционный насос; 8 - эжектор; 9 - линия рециркуляции

Рисунок 18 – Схема узла очистки консервирующих растворов

6. Обезвреживание сточных вод систем гидрозолаудаления

Количество сточных вод систем ГЗУ во много раз превышает суммарный объем всех остальных загрязненных стоков ТЭС. По этой причине очистка сточных вод систем ГЗУ, а для оборотных систем очистка продувочной воды весьма затруднительны. Очистка этих стоков усложняется высокой концентрацией фторидов, мышьяка, ванадия, ртути, германия и некоторых других элементов, обладающих токсичными свойствами. В применении к таким водам более целесообразно их обезвреживание, т. е. снижение концентрации вредных веществ до значений, при которых возможны их сбросы в водоемы.

Основные методы обезвреживания:

- осаждение примесей;
- сорбция примесей на различных сорбентах, в том числе на золе;
- предварительная обработка с применением окислительно-восстановительных процессов.

Наиболее проверенным методом, применяемым для удаления токсичных примесей из сточных вод, является осаждение примесей в результате образования малорастворимых химических соединений или в результате их адсорбции на поверхности образуемых в воде твердых частиц. В качестве реагента используется, как правило, известь. При необходимости применяются дополнительные реагенты, усиливающие процесс осаждения.

На ТЭС должно быть создано специальное хранилище для захоронения там осажденных веществ из продувочных вод систем ГЗУ.

Наладка системы ГЗУ позволяет откорректировать соотношение воды и золы, значение рН и в результате получить достаточно глубокое удаление токсичных примесей из сточных вод ГЗУ, используя свойства золы. Благодаря такой наладке можно избежать строительства специальных очистных сооружений.

Принципиальным решением проблемы обезвреживания сточных вод систем ГЗУ является переход на пневматические сухие системы транспортировки и хранения золы и шлака с полным их использованием в народном хозяйстве.

Тема 10. Защита от шума, создаваемого оборудованием ТЭС

План:

1. Источники шума на ТЭС, влияющие на район городской застройки вокруг промпредприятия.
2. Периодические и непрерывно-действующие источники шума.
3. Распространение шума от различных источников.
4. Активные и реактивные шумоглушители.
5. Проектирование шумоглушителей от паровых сбросов.
6. Шумоглушение в газотурбинных установках.

1. Источники шума на ТЭС, влияющие на район городской застройки вокруг промпредприятия

На энергетическом объекте, как правило, шум создает целая группа источников.

При классификации источников шума учитывают следующие факторы:

- размещение источников (внутри помещений или на открытом воздухе);
- уровень излучаемой звуковой мощности;
- характер шума (тональный или широкополосной);
- временная характеристика излучаемого шума (временный, постоянный ио ипрерывистый);
- характер направленности шума от источником;
- месторасположения над уровнем земли (для источников, находящихся на открытом воздухе).

Источники шума ТЭС:

- 1) устье дымовой трубы;
- 2) аварийный сброс пара;
- 3) воздухозаборы дутьевых вентиляторов;
- 4) корпуса тягодутьевого оборудования;
- 5) компрессорная;
- 6) ГРП;
- 7) Трансформаторы.

Наиболее интенсивными источниками шума являются турбины (особенно газовые), редуционно-охладительные установки, углеразмольное оборудование, котлы, компрессоры, различного вида насосы, деаэрационные установки, паропроводы, синхронные компрессоры, приточно-вытяжная вентиляция.

Наиболее сильным источником шума является сброс пара. Постоянным источником шума, сильно воздействующим на окружающий район, являются воздушные и газовые тракты, шум через которые излучается от газовых турбин, тягодутьевых машин или процессов горения.

Источниками шума являются также: газораспределительный пункт и газопроводы после него, корпуса тягодутьевых машин, силовые трансформаторы и градирни. Шум проникает также из различных помещений.

Важно отметить, что происходит увеличение уровня звуковой энергии при отклонении от номинального режима при работе вентиляторов, дымососов, ГТУ.

Шум, излучаемый от высотного источника, мало снижается естественными и искусственными препятствиями, а шум от энергетических газозовоздухопроводов имеет тональные составляющие в спектре и излучается с большой высоты.

2. Периодические и непрерывно-действующие источники шума

Шум от оборудования может иметь различные временные характеристики, т.е. существуют постоянный и непостоянный шум.

При постоянном шуме (например, шум от тягодутьевых машин) уровень звука изменяется во времени не более чем на 5 дБА, а при непостоянном шуме – более чем на 5 дБА при измерениях с помощью шумомера с динамической характеристикой «медленно» за 8-ми часовой рабочий день.

Непостоянный шум включает в себя колеблющийся во времени, прерывистый (от компрессора с переменной нагрузкой) и импульсный (при подрыве предохранительных клапанов) шум.

Для колеблющегося во времени шума характерно непрерывное изменение уровня звука во времени; для прерывистого – ступенчатое (на 5дБА и более) при продолжительности интервалов 1 с и более; для импульсного – звуковые сигналы длительностью менее 1 с (при этом разность в измерениях шумомеров с динамическими характеристиками «импульс» и «медленно» составляет не менее 7 дБА).

3. Распространение шума от различных источников

Шумы от источников могут распространяться тремя путями. Непосредственно по воздуху, по воздуховодам, через ограждения, отделяющие шумные помещения от менее шумных (через стенки воздухопроводов, через ограждающие конструкции зданий и т. д.), по материалу конструкций, приводимых в колебания (стенки трубопроводов, ограждающие конструкции и т. п.).

Соответственно путям распространения борьба с шумом должна проводиться разными способами:

– при передаче по воздуху – шумоглушением за счет применения звукоизолирующих облицовок воздухопроводов или специальных глушителей шума;

– при передаче через ограждения – звукоизоляцией путем применения тяжелых и плотных материалов;

– при передаче по конструкциям – виброизоляцией или вибропоглощением упругими материалами с большим внутренним трением.

4. Активные и реактивные шумоглушители

Глушители аэродинамического шума подразделяются на камерные, активные, реактивные и др.

В глушителях реактивного типа поглощение звука происходит вследствие образования «волновой пробки», затрудняющей прохождение звука на некоторых частотах из-за инертности массы воздуха в трубах или отверстиях, соединяющих ячейки глушителя.

Реактивные глушители выполняются в виде камер расширения, связанных с воздухопроводами. Глушитель работает на принципе акустического фильтра. Он способен пропускать без заметного ослабления одни частоты и подавлять другие. Глушитель может состоять из одной камеры или из нескольких камер, соединенных внешней или внутренней трубой.

Глушители активного типа представляют собой канал, облицованный звукопоглощающим материалом. Конструктивно они выполняются в виде круглого или квадратного сечения. Глушителем может служить один облицовочный канал или семейство каналов, имеющих сотовую форму. Большая часть глушителей такого типа применяется для гашения широкополосного шума.

Конструктивно глушители выполняются в виде отдельных агрегатов, которые соединяются с газопроводом при помощи фланцев.

Материалы для использования в активных глушителях:

- антисептированная и антипирированная хлопчатобумажная вата, если газ не содержит капельной влаги и агрессивных веществ;
- капроновое волокно, в случае если газ влажный или с примесью некоторых агрессивных веществ;
- стеклянное волокно и шлаковая вата для газа с повышенной температурой;
- строительный или керамзитовый гравий для использования в условиях высоких температур и больших скоростей газа.

5. Проектирование шумоглушителей от паровых сбросов

Шумоглушители паровых и газовых сбросов применяются для снижения уровня звукового давления выхлопных технологических и предохранительных трубопроводов до допустимого уровня, предусмотренного для рабочих мест и на границе защитных санитарных зон предприятий энергетического, нефтеперерабатывающего и химического сектора промышленности.

В зависимости от технических требований шумоглушитель может быть диффузорного, абсорбционного или комбинированного типа.

6. Шумоглушение в газотурбинных установках

В ГТУ интенсивный шум возникает в системе всасывания воздуха и выхлопа газов, в вентиляторе системы охлаждения, в корпусе турбомашин и в генераторе.

Шум, создаваемый в процессе всасывания воздуха в компрессор, обусловлен взаимодействием турбулизованного ротором компрессора воздуха со статором, т. е. переменными аэродинамическими силами, а также явлениями неустойчивости турбулентного потока.

Аэродинамический шум компрессора разделяют на два вида:

- вихревой
- сиренный.

Основная частота вихревого шума соответствует скорости вращения ротора и равна числу оборотов в секунду ($n/60$). Для промышленных газовых турбин она колеблется в пределах (50-160) Гц. Для газовых турбин она составляет (1000-5000) Гц. Сиренный шум является наиболее вредным по воздействию на человека. Интенсивность его зависит от давления в проточной части компрессора, числа лопаток, скорости вращения. Интенсивность сиренного шума пропорциональна, окружной скорости колеса в третьей степени.

Шум, создаваемый явлениями неустойчивости воздушного потока, обычно ощутим лишь в режиме пуска компрессора. Однако он может существенно возрасти при резонансе.

Шум, производимый на выхлопе ГТ, вызван процессом горения, высокой скоростью прохождения газов через проточную часть турбины и турбулентностью газового потока на выхлопе, что является главной составляющей шума. Известно, что он значительно ослабляется при уменьшении средней скорости выхлопных газов и неравномерности скоростей в секциях выхлопного патрубка. Кроме того, по своему физиологическому воздействию шум на выхлопе газовых турбин менее вреден, чем шум на всасывании компрессора (общий уровень и частота ниже).

Серьезную проблему шум выхлопа может представить при возникновении газодинамических колебаний в теплообменниках, зачастую устанавливаемых в выхлопном тракте для утилизации тепла.

При определенных, неблагоприятных сочетаниях конструктивных параметров, колебания могут также возникать в трубчатых теплообменниках (экономайзерах, утилизационных котлах). Интенсивность этих колебаний настолько велика, что они нередко приводят к разрушению теплообменников и вызывают очень сильный шум, значительно превышающий допустимые нормы. Причиной возникновения колебаний служит срыв вихрей с трубок водогрейного пучка.

Для снижения вихревого шума рекомендуется:

– Стремиться обеспечить работу машины в оптимальном режиме, т. е. при сохранении высокого к. п. д.

– Турбулентность потока на входе сохранять минимальной. Дополнительная турбулизация воздуха на входе в осевой компрессор увеличивает уровень шума на 5 дБ. Входным устройствам придают обтекаемую форму, избегают препятствий на пути подвода потока или увеличивают расстояние от входа до проточной части.

– Использовать накладки из пористого металла на задней кромке лопатки. По экспериментальным данным, ослабление шума составляет 5 дБ для общего уровня звукового давления и до 16 дБ в диапазоне частоты вихревой дорожки Кармана.

– Нарезка поперечных насечек на рабочей стороне лопатки, предотвращающих отрыв пограничного слоя, приводит к уменьшению шума на (1-2) дБ; аналогичный результат можно получить покрытием межлопаточного канала металлической сеткой или используя лопатки с пластичным покрытием. Нарезка насечек на задней кромке лопатки также способствует уменьшению звукоизлучения, правда эти способы связаны с увеличением турбулентности в последующих ступенях.

2. Методические указания по выполнению практических занятий

Тема «Воздействие тепловых электростанций на окружающую среду»

Задача 1. Определение предельно допустимых выбросов (ПДВ) вредных веществ в атмосферу.

ПДВ вредных веществ в атмосферу устанавливается для каждого источника загрязнения атмосферы таким образом, что выбросы вредных веществ от данного источника и от совокупности источников населённого пункта с учётом перспективы развития промышленных предприятий и рассеивания вредных веществ в атмосфере не создают приземную концентрацию, превышающую предельно-допустимую концентрацию (ПДК) для выбрасываемого вредного вещества.

При установлении ПДВ учитывают фоновые концентрации C_{ϕ} . Фоновая концентрация вредного вещества в атмосфере – концентрация этого вещества без учёта вклада данного источника.

Для нагретых выбросов ($\Delta T > 0$):

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК} - C_{\phi}) \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}, \text{ (г/с)} \quad (1)$$

Для холодных выбросов ($\Delta T = 0$):

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК} - C_{\phi}) \cdot H^{4/3}}{A \cdot F \cdot n \cdot \eta \cdot k}, \text{ (г/с)} \quad (2)$$

Задача 2. Определение минимальной высоты источника выброса.

Если приземная концентрация вредного вещества превышает допустимую (ПДК), то необходимо разработать мероприятия по снижению этой концентрации. Одним из путей решения этой проблемы является увеличение высоты источника выбросов.

Минимальная высота источника выброса определяется по формуле:

$$H_{\text{MIN}} = \left[\frac{A \cdot M \cdot F \cdot D \cdot K}{(\text{ПДК} - C_{\phi})} \right]^{3/4} \text{ (м)}.$$

Задача 3. Расчет санитарно-защитной зоны (СЗЗ) ТЭС

Размеры СЗЗ, установленные в Санитарных нормах проектирования промышленных предприятий, должны проверяться расчетом с учетом перспективы развития предприятия и фактического загрязнения атмосферного воздуха.

Полученные по расчету размеры СЗЗ должны уточняться отдельно для различных направлений ветра в зависимости от результатов расчета загрязнения атмосферы и среднегодовой розы ветров района расположения предприятия по формуле

$$l = L_0 \frac{F}{F_0},$$

где l - расчетный размер СЗЗ, м;

L_0 - расчетный размер участка местности в данном направлении, где концентрация вредных веществ (с учетом фоновой концентрации от других источников) не превышает ПДК, м;

P - среднегодовая повторяемость направления ветров рассматриваемого румба, %;

P_0 - повторяемость направлений ветров одного румба при круговой розе ветров.

Например, при восьми румбовой розе ветров

$$P_0 = \frac{100}{8} = 12,5 \%$$

Значения l и L_0 отсчитываются от границы источников.

Примечания.

1. Значения L_0 в общем случае могут различаться для ветров разных направлений.

2. Среднегодовая роза ветров, характеризуемая значениями P для разных румбов, принимается по данным «Справочника по климату СССР», а при отсутствии необходимых данных в этом справочнике запрашивается в УГКС по месту расположения предприятия.

Учитывая значительную пространственную изменчивость розы ветров, особенно в условиях сложного рельефа, речных долин, вблизи морей, озер и т. п., при использовании справочных данных следует согласовать принятую розу ветров с УГКС Госкомгидромета по месту расположения предприятия.

Если в соответствии с предусмотренными техническими решениями и расчетами загрязнения атмосферы размеры СЗЗ для предприятия получаются больше, чем размеры, установленные Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий, то необходимо пересмотреть проектные решения и обеспечить выполнение требований Санитарных норм за счет уменьшения количества выбросов вредных веществ в атмосферу, увеличения высоты их выброса с учетом установленных ограничений и др.

Тема «Распределение загрязняющих веществ в атмосферном воздухе»

Задача. Расчет рассеивания в атмосферном воздухе загрязняющих веществ из дымовой трубы ТЭС

Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе, предназначенные для расчета концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в приказе Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 6 июня 2017 г. № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе».

Рассматриваемый метод используется при расчетах рассеивания выбросов от дымовых труб, вентиляционных шахт, а также от источников организованного выброса загрязняющих атмосферный воздух веществ от точечных источников выброса при условии, что скорость w_0 выхода газовой смеси (ГВС) из устья источника выброса не превосходит скорости звука в атмосферном воздухе (принимается равной 330 м/с), а температура T_r ГВС не превышает 3000 °С.

Максимальная приземная разовая концентрация загрязняющих веществ (ЗВ) c_m , мг/м³, при выбросе ГВС из одиночного точечного источника с круглым устьем достигается при опасной скорости ветра u_m на расстоянии x_m от источника выброса и определяется по формул:

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (3)$$

где A - коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы, определяющий условия горизонтального и вертикального рассеивания ЗВ в атмосферном воздухе;

M - масса ЗВ, выбрасываемого в атмосферный воздух в единицу времени (мощность выброса), г/с;

F - безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания ЗВ (газообразных и аэрозолей, включая твердые частицы) в атмосферном воздухе;

m и n - безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выброса из устья источника выброса;

η - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (определяемый в соответствии с главой VII настоящих Методов);

H - высота источника выброса, м;

V_1 - расход ГВС, определяемый по формуле (4), м³/с;

ΔT - разность между температурой выбрасываемой ГВС T_r и температурой атмосферного воздуха T_b , °С.

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot w_0, \quad (4)$$

где D - диаметр устья источника выброса, м;

w_0 - средняя скорость выхода ГВС из устья источника выброса, м/с.

Значения коэффициента A , соответствующего неблагоприятным метеорологическим условиям, при которых разовые концентрации ЗВ в атмосферном воздухе достигают максимальных значений, приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Значения коэффициента A , соответствующего неблагоприятным метеорологическим условиям, при которых разовые концентрации ЗВ в атмосферном воздухе достигают максимальных значений

№ п/п	Регион	Коэффициент A
1	Республика Бурятия и Забайкальский край	250
2	Районы европейской территории Российской Федерации южнее 50° с. ш., остальные районы Нижнего Поволжья, азиатская территория Российской Федерации, кроме указанных в пунктах 1 и 3 настоящей Таблицы	200
3	Европейская территория Российской Федерации и Урала от 50° с. ш. до 52° с. ш. включительно, за исключением попадающих в эту зону районов, перечисленных в пунктах 1 и 2 настоящей Таблицы, а также для районов азиатской территории Российской Федерации, расположенных к северу от Полярного круга и к западу от меридиана 108° в.д.	180
4	Европейская территория Российской Федерации и Урала севернее 52° с. ш. (за исключением центра европейской территории Российской Федерации)	160
5	Владимирская, Ивановская, Калужская, Московская, Рязанская и Тульская области	140

Мощности M выброса, высоты источников H , диаметры устьев D , температуры T_r и расходы V_1 ГВС при проектировании предприятий должны определяться расчетом в технологической части проекта (для проектируемых, вводимых в эксплуатацию построенных и реконструированных объектов), а для действующих производств должны определяться по результатам инвентаризации стационарных источников выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух.

При расчете максимальных разовых концентраций принимаются сочетания при времени осреднения (20 – 30) мин значений M и V_1 , реально возможные в течение года при безаварийных условиях эксплуатации предприятия, при которых достигается максимальная концентрация c_m ЗВ.

Способ определения зависимости мощности выброса M от скорости ветра определяется методикой расчета выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух стационарными

ми источниками выброса. При этом учет зависимости мощности выброса M от скорости ветра осуществляется с помощью соответствующего множителя, который включается в формулу (20), а максимальная приземная концентрация ZB и опасная скорость ветра определяются прямым перебором скоростей.

При определении величины ΔT для предприятий, работающих по сезонному графику, допускается принимать значения расчетной температуры окружающего атмосферного воздуха T_b равными средним месячным температурам воздуха за самый холодный месяц по СП 131.13330.2012 Свод правил «Актуализированная редакция СНиП 23-01-99 Строительная климатология».

Для остальных источников выбросов расчетная температура T_b принимается равной средней максимальной температуре воздуха наиболее теплого месяца года по СП 131.13330.2012 Свод правил «Актуализированная редакция СНиП 23-01-99 Строительная климатология».

Значение безразмерного коэффициента F при отсутствии данных о распределении на выбросе частиц аэрозолей по размерам определяется следующим образом:

- для газообразных ZB и мелкодисперсных аэрозолей диаметром не более 10 мкм $F = 1$;
- для аэрозолей (за исключением мелкодисперсных аэрозолей диаметром не более 10 мкм) при наличии систем очистки выбросов значение безразмерного коэффициента F приведено в таблице 3.

Таблица 3 - Значение безразмерного коэффициента F для аэрозолей

Степень очистки	Коэффициент F
При среднем эксплуатационном коэффициенте очистки выбросов свыше 90%	2
При среднем эксплуатационном коэффициенте очистки выбросов от 75% до 90% включительно	2,5
При среднем эксплуатационном коэффициенте очистки выбросов менее 75% или отсутствии очистки выбросов	3

Вне зависимости от эффективности очистки значение коэффициента F принимается равным 3 при расчетах концентрации пыли в атмосферном воздухе для производств, в выбросах которых содержание водяного пара соответствует температуре точки росы, которая выше используемой в расчетах температуры атмосферного воздуха T_b на 5 °С и более.

При наличии данных инструментальных измерений распределения в выбросе аэрозолей по размерам определяются следующие показатели:

d_g - диаметр частиц, такой, что масса всех частиц диаметром больше d_g составляет 5% общей массы аэрозолей;

v_g - соответствующая d_g скорость гравитационного оседания частиц в атмосферном воздухе, м/с.

Значение коэффициента F устанавливается в зависимости от безразмерного отношения v_g/u_m , где u_m - опасная скорость ветра.

При $v_g/u_m \leq 0,015$ значение $F = 1$, при $0,015 < v_g/u_m \leq 0,030$ значение $F = 1,5$.

Коэффициенты m и n определяются в зависимости от характеризующих свойства источника выброса параметров v_m , v'_m , f и f_e :

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}, \quad (5)$$

$$v'_m = 1,3 \cdot \frac{w_0 \cdot D}{H}, \quad (6)$$

$$f = 1000 \cdot \frac{w_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (7)$$

$$f_e = 800 \cdot (v'_m)^3. \quad (8)$$

Коэффициент m определяется по формулам (9а) - (9б):

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} \text{ при } f < 100, \quad (9a)$$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} \text{ при } f \geq 100. \quad (9b)$$

Для $f_e < f < 100$ коэффициент m вычисляется при $f = f_e$.

Коэффициент n при $f < 100$ определяется по формулам (10а) - (10в):

$$n = 4,4 \cdot v_m \text{ при } v_m < 0,5, \quad (10a)$$

$$n = 0,532 \cdot v_m^2 - 2,13 \cdot v_m + 3,13 \text{ при } 0,5 \leq v_m < 2, \quad (10b)$$

$$n = 1 \text{ при } v_m \geq 2. \quad (10b)$$

Для $f \geq 100$ (или $0 \leq \Delta T < 0,5$) и $v'_m \geq 0,5$ (холодные выбросы) при расчете c_m вместо формулы (3) используется формула (11):

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot \eta}{H^{4/3}} \cdot K, \quad (11)$$

где

$$K = \frac{D}{8 \cdot V_1} = \frac{1}{7,1 \cdot \sqrt{w_0 \cdot V_1}}, \quad (12)$$

причем n определяется по формулам (10а - 10в) при $v_m = v'_m$.

Аналогично при $f < 100$ и $v_m < 0,5$ или $f \geq 100$ и $v'_m < 0,5$ (случаи предельно малых опасных скоростей ветра) расчет c_m производится по формуле (13):

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m' \cdot \eta}{H^{7/3}}, \quad (13)$$

где

$$m' = 2,86 \cdot m \text{ при } v_m < 0,5, \quad (14a)$$

$$m' = 0,9 \text{ при } f \geq 100, v'_m < 0,5. \quad (14b)$$

Формулы (11) и (13) являются предельными случаями общей формулы (3).

Формула (13) при $m' = 0,9$ применяется также при расчете концентраций ЗВ для источников выбросов, у которых вертикальная составляющая скорости поступающей в атмосферу газоздушную смеси не превышает 0,01 м/с, а давление в ней, ее плотность и температура отличаются от соответствующих характеристик атмосферного воздуха не более, чем на 0,01% (далее - источник выбросов фиксированной высоты) и при $0 \leq v'_m < 0,5$ и $-0,5 \leq \Delta T \leq 0$.

Расстояние x_m от источника выброса, на котором приземная концентрация с ЗВ при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения c_m , определяется по формуле (15):

$$x_m = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H, \quad (15)$$

Безразмерный коэффициент d при $f < 100$ находится по формулам (16а) - (16в)

$$d = 2,48 \cdot \left(1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_e}\right) \text{ при } v_m \leq 0,5, \quad (16a)$$

$$d = 4,95 \cdot v_m \cdot \left(1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}\right) \text{ при } 0,5 < v_m \leq 2, \quad (16б)$$

$$d = 7 \cdot \sqrt{v_m} \cdot \left(1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}\right) \text{ при } v_m > 2. \quad (16в)$$

При $f \geq 100$ или $0 \leq \Delta T < 0,5$ коэффициент d находится по формулам (17а) - (17в):

$$d = 5,7 \text{ при } v'_m \leq 0,5, \quad (17a)$$

$$d = 11,4 \cdot v'_m \text{ при } 0,5 < v'_m \leq 2, \quad (17б)$$

$$d = 16 \cdot \sqrt{v'_m} \text{ при } v'_m > 2. \quad (17в)$$

Для источника выброса фиксированной высоты H при $0 \leq v'_m < 0,5$ и $-0,5 \leq \Delta T \leq 0$ значение x_m принимается равным $5,7 \cdot H$.

Опасная скорость ветра u_m на стандартном уровне флюгера (10 м от уровня земли), при которой достигается наибольшая приземная концентрация ЗВ c_m , в случае $f < 100$ определяется по формулам (18а - 18в):

$$u_m = 0,5 \text{ при } v_m \leq 0,5, \quad (18a)$$

$$u_m = v_m \text{ при } 0,5 < v_m \leq 2, \quad (18б)$$

$$u_m = v_m \cdot \left(1 + 0,12 \cdot \sqrt{f}\right) \text{ при } v_m > 2. \quad (18в)$$

При $f \geq 100$ или $0 \leq \Delta T < 0,5$ значение u_m вычисляется по формулам (19а - 19в):

$$u_m = 0,5 \text{ при } v'_m \leq 0,5, \quad (19a)$$

$$u_m = v'_m \text{ при } 0,5 < v'_m \leq 2, \quad (19б)$$

$$u_m = 2,2 \cdot v'_m \text{ при } v'_m > 2. \quad (19в)$$

Для источника выброса фиксированной высоты H при $0 \leq v'_m < 0,5$ и $-0,5 \leq \Delta T \leq 0$ принимается $u_m = 0,5$ м/с.

Максимальная приземная концентрация ЗВ $c_{m,u}$ при неблагоприятных метеорологических условиях и скорости ветра u , отличающейся от опасной скорости ветра u_m , определяется по формуле (20):

$$c_{m,u} = r \cdot c_m, \quad (20)$$

где r - безразмерная величина, определяемая по формулам (21а - 21б):

$$r = 0,67 \cdot \frac{u}{u_m} + 1,67 \cdot \left(\frac{u}{u_m}\right)^2 - 1,34 \cdot \left(\frac{u}{u_m}\right)^3 \text{ при } \frac{u}{u_m} \leq 1, \quad (21а)$$

$$r = \frac{3 \cdot (u/u_m)}{2 \cdot (u/u_m)^2 - u/u_m + 2} \text{ при } \frac{u}{u_m} > 1. \quad (21б)$$

При проведении расчетов следует использовать значения скорости ветра u в диапазоне от 0,5 м/с до $u_{m,p}$, где $u_{m,p}$ - максимальная расчетная скорость ветра, значение которой в данной местности в среднем многолетнем режиме превышает в 5% случаев.

Расстояние от источника выброса $x_{m,u}$, на котором при скорости ветра u и неблагоприятных метеорологических условиях достигается максимальная приземная концентрация $c_{m,u}$ ЗВ, определяется по формуле:

$$x_{m,u} = p \cdot x_m, \quad (22)$$

где p - безразмерный коэффициент, определяемый по формулам (23а - 23в):

$$p = 3 \text{ при } \frac{u}{u_m} \leq 0,25, \quad (23а)$$

$$p = 8,43 \cdot \left(1 - \frac{u}{u_m}\right)^5 + 1 \text{ при } 0,25 < \frac{u}{u_m} \leq 1, \quad (23б)$$

$$p = 0,32 \cdot \frac{u}{u_m} + 0,68 \text{ при } \frac{u}{u_m} > 1. \quad (23в)$$

При опасной скорости ветра x_m приземная концентрация ЗВ c в атмосферном воздухе на оси факела от точечного источника, определяемой как геометрическое место точек в пространстве, которые на каждом заданном расстоянии от источника соответствуют максимальному значению концентрации ЗВ, а также как их проекция на подстилающую поверхность (то есть на взаимодействующую с атмосферой поверхность земли, в том числе, почву, поверхностные воды, снежный и растительный покров), на различных расстояниях x от источника выброса вычисляется по формуле:

$$c = s_1 \cdot c_m, \quad (24)$$

где s_1 - безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения x/x_m и коэффициента F по формулам (25а - 25е):

$$s_1 = 3 \cdot (x/x_m)^4 - 8 \cdot (x/x_m)^3 + 6 \cdot (x/x_m)^2 \text{ при } x/x_m \leq 1, \quad (25a)$$

$$s_1 = \frac{1,13}{0,13 \cdot (x/x_m)^2 + 1} \text{ при } 1 < x/x_m \leq 8, \quad (25б)$$

$$s_1 = \frac{x/x_m}{3,556 \cdot (x/x_m)^2 - 35,2 \cdot (x/x_m) + 120} \text{ при } 8 < x/x_m \leq 100 \text{ и } F \leq 1,5, \quad (25в)$$

$$s_1 = \frac{1}{0,1 \cdot (x/x_m)^2 + 2,456 \cdot (x/x_m) - 17,8} \text{ при } 8 < x/x_m \leq 100 \text{ и } F > 1,5, \quad (25г)$$

$$s_1 = 144,3 \cdot (x/x_m)^{-7/3} \text{ при } x/x_m > 100 \text{ и } F \leq 1,5, \quad (25д)$$

$$s_1 = 37,76 \cdot (x/x_m)^{-7/3} \text{ при } x/x_m > 100 \text{ и } F > 1,5. \quad (25е)$$

Для наземных и низких источников выброса (высотой H не более 10 м) при $x/x_m < 1$ величина s_1 в формуле (24) заменяется на величину s_1^H , определяемую по формуле:

$$s_1^H = 0,125 \cdot (10 - H) + 0,125 \cdot (H - 2) \cdot s_1 \text{ при } 2 \leq H < 10 \quad (26)$$

Аналогично определяется концентрация ЗВ на различных расстояниях по оси факела при неблагоприятных метеорологических условиях и других скоростях ветра $u \neq u_m$. Сначала по формулам (20) и (22) определяются величины $c_{m,u}$ и $x_{m,u}$, соответственно. Затем в зависимости от отношения x/x_m определяется значение s_1 по формулам (25а) - (25е) и (26). Искомая концентрация c ЗВ определяется путем умножения $c_{m,u}$ на s_1 .

5.14. Приземная концентрация ЗВ в атмосферном воздухе c_y на расстоянии y по нормали к оси факела выброса определяется по формуле:

$$c_y = s_2 \cdot c, \quad (27)$$

где s_2 - безразмерный коэффициент, определяемый по формуле:

$$s_2 = \frac{1}{(1 + 5 \cdot t_y + 12,8 \cdot t_y^2 + 17 \cdot t_y^3 + 45,1 \cdot t_y^4)^2}, \quad (28)$$

где

$$t_y = \frac{u \cdot y^2}{x^2} \text{ при } u \leq 5 \text{ м/с}, \quad (29a)$$

$$t_y = \frac{5 \cdot y^2}{x^2} \text{ при } u > 5 \text{ м/с}. \quad (29б)$$

Расчеты распределения максимальных разовых концентраций c_z ЗВ на разных высотах $z > 2$ м над подстилающей поверхностью по формулам, приведенным в данном пункте, проводятся для таких расчетных точек, на которых на значения концентрации не влияют ветровые тени близлежащих зданий и сооружений. В частности, такие расчеты производятся при выборе положения устьев воздухозаборных труб и шахт и других объектов, расположенных на открытых участках местности или на участках, где максимальная высота зданий (сооружений) не менее чем в 2,5 раза ниже высоты воздухозабора при условии, что источники выбросов не располагаются в зоне затишья и/или нарушенного ветрового потока, образующейся на подветренной стороне здания (сооружения) (зона подветренной тени), с наветренной стороны (зона наветренной тени или зона подпора), на крыше (зона крышной тени) или между зданиями (зона межкорпусной тени) (далее - ветровая тень зданий и сооружений).

Для одиночного источника выброса высотой H концентрации c_z ЗВ рассчитываются по формуле:

$$c_z = 0,5 \cdot (c'_1 + c'_2), \quad (30)$$

где c'_1 , c'_2 - вычисляемые по формулам, приведенным в данной главе, при $x > 0$ приземные концентрации ЗВ от точечных источников выбросов, высоты которых равны $H_1 = |H - z + 2|$ и $H_2 = H + z - 2$, соответственно. Остальные параметры выброса рассматриваемого источника выброса (M , D , w_0 , T_r) сохраняются неизменными.

При $H < 2$ или при $H_1 < 2$ в (30), соответственно, принимается $H = 2$ или $H_1 = 2$; аналогично, при $z < 2$ принимается $z = 2$.

Расчеты по формуле (30) проводятся на расстояниях x от точечного источника выброса, удовлетворяющих условию $x > 10D$, где D - диаметр устья источника выброса; при проведении расчетов используются значения скорости ветра u в диапазоне от 0,5 м/с до $u_{м.р.}$, где $u_{м.р.}$ - максимальная расчетная скорость ветра.

Расчеты рассеивания выбросов для источников выбросов с прямоугольными устьями (шахт) производятся по формулам, приведенным в данной главе, при значениях $D = D_{\text{Э}}$ и $V_1 = V_{1\text{Э}}$ и принятии w_0 как средней скорости выхода ГВС в атмосферный воздух.

Средняя скорость w_0 выхода ГВС в атмосферный воздух определяется по формуле:

$$w_0 = \frac{V_1}{L_{\text{уст}} \cdot b}, \quad (31)$$

где $L_{\text{уст}}$ - длина устья, м;

b - ширина устья, м.

Эффективный диаметр устья $D_{\text{Э}}$, м, определяется по формуле:

$$D_{\text{Э}} = \frac{2 \cdot L_{\text{уст}} \cdot b}{L_{\text{уст}} + b}. \quad (32)$$

Для источника выброса с квадратным устьем ($L_{\text{уст}} = b$) эффективный диаметр $D_{\text{Э}}$ равняется длине стороны квадрата.

Эффективный расход выходящей в атмосферный воздух в единицу времени ГВС $V_{1\text{Э}}$, м³/с определяется по формуле:

$$V_{1\text{Э}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{Э}}^2}{4} \cdot w_0. \quad (33)$$

В остальном расчет рассеивания выбросов производится так же, как для выбросов из источника выброса с круглым устьем.

Для каждого источника выброса радиус зоны влияния рассчитывается как наибольшее из двух расстояний от источника выброса x_1 и x_2 , где $x_1 = 10 \cdot x_m$, а величина x_2 определяется как расстояние от источника выброса, начиная с которого $c \leq 0,05 \cdot \text{ПДК}_{\text{м.р.}}$.

Тема «Очистка дымовых газов ТЭС от летучей золы, сажи и частиц недожуга топлива»

Практическое занятие «Методы очистки дымовых газов ТЭС от летучей золы, сажи и частиц недожуга топлива»

План:

1. Сухие методы очистки.
2. Мокрые методы очистки.
3. Электрофильтры.

Тема «Очистка дымовых газов ТЭС от оксидов азота»

Практическое занятие «Методы очистки дымовых газов ТЭС от оксидов азота»

План:

1. Методы адсорбции.
2. Методы абсорбции.
3. Некаталитические методы очистки.
4. Каталитические методы очистки.

Тема «Очистка дымовых газов ТЭС от оксидов серы»

Практическое занятие «Методы очистки дымовых газов ТЭС от оксидов серы»

План:

1. Методы адсорбции.
2. Методы абсорбции.
3. Каталитические методы очистки.

Тема «Методы очистки сточных вод ТЭС»

Практическое занятие «Методы очистки сточных вод от ТЭС»

План:

1. Механические методы.
2. Физико-химические методы.
3. Биологические методы.

Тема «Защита от шума, создаваемого оборудованием ТЭС»

Практическое занятие «Пути защиты селитебной территории от шума, создаваемого оборудованием ТЭС»

План:

1. Уменьшение шума в источнике его возникновения.
2. Звукопоглощение.
3. Звукоизоляция.
4. Установка глушителей шума.
5. Рациональное размещение цехов и оборудования, имеющих интенсивные источники шума.
6. Применение рациональных приемов планировки и застройки городских и сельских поселений, городских округов, жилых районов, микрорайонов и кварталов;
7. Соблюдение санитарно-защитных зон (по фактору шума) промышленных и энергетических предприятий, автомобильных и железных дорог, аэропортов, предприятий транспорта (железнодорожных сортировочных станций, депо, автобусных и троллейбусных парков и т.п.);

8. Строительство шумозащитных зданий;
9. Сооружение шумозащитных экранов и устройство шумозащитных полос зеленых насаждений;

3. Методические рекомендации для проведения самостоятельной работы

1. Методические рекомендации при работе над конспектом лекций во время проведения лекции

В ходе лекционных занятий вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском искусстве. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.

2. Методические рекомендации при подготовке к практическим занятиям

Целью проведения практических занятий является закрепление полученного на лекциях теоретико-методического материала, развитие логического мышления и аналитических способностей у будущих бакалавров. Методика проведения практических занятий предусматривает решение общих (типовых) задач и нескольких задач для самостоятельного решения. Темы практических занятий сообщаются студентам заранее и определены рабочей программой дисциплины.

Методические рекомендации для выполнения практических работ, в которых кратко изложен основной теоретический материал по теме практической работы, а также приведен порядок выполнения работы с требованиями к отчету, выдаются на первом занятии в электронном виде.

В ходе подготовки к практическим занятиям необходимо изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, новыми публикациями в периодических изданиях по теме практического занятия. Изучить выданный преподавателем материал по темам практических работ. При этом учесть рекомендации преподавателя и требования рабочей программы. Ознакомиться с исходными данными для выполнения индивидуального задания. На практических занятиях задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.

Не ранее чем за две недели до окончания семестра сдать и защитить расчетно-графическую работу.

Оформление индивидуальных заданий выполняется в соответствии с требованиями стандарта АмГУ СТО СМК 4.2.3.05-2011 «Оформление выпускных квалификационных и курсовых работ (проектов)». Нормоконтроль проходить не требуется. Титульный лист приведен на рисунке 19.

В содержании должны быть отражены следующие пункты:

1. Содержание
2. Условие задачи
3. Теоретическая часть
4. Расчетная часть
5. Анализ результатов расчета
6. Выводы
7. Библиографический список
8. Приложения (при необходимости), например листинги программ по которым производились расчеты

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет:
Кафедра:
Направление подготовки:
Направленность (профиль) образовательной программы:

Расчетно-графическая работа

Вариант № _____

по дисциплине: _____

Выполнил

студент группы _____

И.О.Ф.

(подпись, дата)

Проверил

должность, ученая степень _____

И.О.Ф.

(подпись, дата)

Благовещенск 20 ____

Рисунок 19 – Титульный лист отчета по индивидуальному заданию

3. Групповая консультация

Разъяснение является основным содержанием данной формы занятий, наиболее сложных вопросов изучаемого программного материала. Цель – максимальное приближение обучения к практическим интересам с учетом имеющейся информации и является результативным материалом закрепления знаний.

Групповая консультация проводится в следующих случаях:

- когда необходимо подробно рассмотреть практические вопросы, которые были недостаточно освещены или совсем не освещены в процессе лекции;
- с целью оказания помощи в самостоятельной работе (выполнение расчетно-графической работы, сдача зачета).

4. Методические рекомендации студентам по изучению рекомендованной литературы

Эти методические рекомендации раскрывают рекомендуемый режим и характер различных видов учебной работы (в том числе самостоятельной работы над рекомендованной литературой) с учетом специфики выбранной студентом очной формы.

Изучение дисциплины следует начинать с проработки настоящей рабочей программы, особое внимание, уделяя целям и задачам, структуре и содержанию курса.

Студентам рекомендуется получить в научной библиотеке университета учебную литературу по дисциплине или доступ к электронным библиотечным ресурсам, которые необходимы для эффективной работы на всех видах аудиторных занятий, а также для самостоятельной работы по изучению дисциплины.

Теоретический материал курса становится более понятным, когда дополнительно к прослушиванию лекции и изучению конспекта, изучаются и книги. Легче освоить курс, придерживаясь одного учебника и конспекта. Рекомендуется, кроме «заучивания» материала, добиться состояния понимания изучаемой темы дисциплины. С этой целью рекомендуется после изучения очередного параграфа выполнить несколько простых упражнений на данную тему. Кроме того, очень полезно мысленно задать себе следующие вопросы (и попробовать ответить на них): о чем этот параграф, какие новые понятия введены, каков их смысл, что даст это на практике?

Успешное освоение курса предполагает активное, творческое участие студента путем планомерной, повседневной работы.