



Промышленно- транспортная ЭКОЛОГИЯ

СКИФ



Кафедра «Автосервис»

Лекционный курс

Автор

Годунова Л.Н.

Ростов-на-Дону,
2017

Аннотация

Лекционный курс предназначен для студентов направления 23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

Автор

Годунова Л.Н. – к.т.н., доцент

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лекция №1	4
Лекция №2	18
Лекция №3	28
Лекция №4	46
Лекция №5	56

Лекция №1

Предмет промышленно-транспортной экологии: основные понятия, термины, определения

План:

1. Основные понятия, термины, определения промышленно-транспортной экологии
2. Понятие о горении углеводородных топлив. Материальные балансы. Механизмы горения

Промышленно-транспортная экология относится к числу интенсивно развивающихся областей прикладной (инженерной) экологии со своими понятиями, терминологией, аксиоматикой, методами исследования процессов взаимодействия промышленности и транспорта с окружающей средой.

Э к о л о г и я — отрасль биологической науки о взаимодействии растительных и животных организмов между собой и с окружающей средой.

Промышленность и транспорт создают мощную техногенную нагрузку на окружающую среду. В ряде случаев живая и неживая природа испытывают на себе воздействие промышленных и транспортных объектов. Эти обстоятельства дают возможность говорить о возникновении новой научной ветви — промышленно-транспортной экологии, т. е. промышленно–транспортная экология изучает различные аспекты воздействия объектов промышленности и транспорта на окружающую среду.

Окружающая среда (ОС)- совокупность природных тел (атмосферы, гидросферы, литосферы, биосферы) и культурных (техногенных) объектов, предметов социальной и производственной деятельности человека.

Транспортный комплекс представляет собой технико-экономическую структуру, предназначенную для перевозки грузов и людей, и включает:

- систему проектирования, строительства, реконструкции, ремонта, содержания дорог, мостов, тоннелей и других сооружений;
- автомобильную, авиационную, судостроительную промышленность, строительно-дорожное и транспортное машиностроение;
- сферу эксплуатации и ремонта этих машин, поддержания работоспособности автомобильного транспорта, дорожного хозяйства, службы управления движением;
- промышленность строительных материалов, шин, топлив и масел, электротехнических устройств, запчастей, эксплуатационных жидкостей.

Объекты транспорта - автомобили, мотоциклы, самолеты, суда, локомотивы и другие транспортные средства, оснащенные энергоустановками и обеспечивающие выполнение транспортной работы, а также инженерные сооружения (дороги, мосты, теплотрассы).

Жизненный цикл (ЖЦ) объекта транспорта (рис. 1) - хронологически выраженная последовательность этапов создания(добычи и переработки сырья, производства конструкционных, эксплуатационных, дорожно-

Промышленно-транспортная экология

строительных материалов, транспортировки, хранения) *производства (изготовления объекта) использования, восстановления работоспособности и утилизации* техники или сооружения.

Этап создания включает добычу и переработку сырья, производство конструкционных, строительных материалов, из которых состоит объект транспорта, расходуемых эксплуатационных материалов, необходимых для его функционирования.

Этап производства включает изготовление узлов, деталей, сборку объектов транспорта, строительство инженерных сооружений (участка дороги, моста, путепровода).

Этап использования (эксплуатации) включает выполнение транспортной работы в период нормативного срока службы транспортного средства или использование участка дороги, моста.

Этапы поставки, транспортировки и хранения являются промежуточными и относятся как к материалам, так и объектам транспорта. Экологические проблемы, возникающие на этих этапах, менее значимы, чем на основных этапах жизненного цикла транспортного объекта, поэтому отдельно не рассматриваются.



Рис. 1 - Схема жизненного цикла объекта транспорта

Промышленно-транспортная экология

Этап восстановления работоспособности предусматривает проведение технического обслуживания (содержания) и ремонта объекта транспорта с восстановлением деталей, узлов, агрегатов выработавших ресурс или замену их.

Этап утилизации объекта транспорта предусматривает разборку (ликвидацию), переработку непригодных к восстановлению деталей и узлов, повторное использование конструкционных, строительных и эксплуатационных материалов на предыдущих этапах жизненного цикла объектов транспорта или в других сферах деятельности, захоронение отходов.

На каждом из этапов ЖЦ происходит потребление энергоресурсов, конструкционных, дорожно-строительных и эксплуатационных материалов; технологические процессы сопровождаются выбросами вредных и токсических веществ. Они вносят свой вклад в загрязнение воздуха, воды или почвы, истощение природных ресурсов при реализации ЖЦ объекта, так как могут накапливаться в ландшафтах биосферы.

Биосфера – качественная своеобразная планетарная оболочка, включающая не только организмы, но и среду их жизни, охваченную и преобразованную деятельностью этих организмов.

Биогеоценоз – совокупность на известном протяжении земной поверхностью однородных природных состояний и компонентов (атмосферы, горной породы, почвы и гидрологических условий, растительности, животного мира, микроорганизмов), имеющая специфику взаимодействия этих компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией между компонентами и природными элементами.

Экосистема – совокупность различных видов растений (*продуцентов*), животных (*консументов*) и микроорганизмов (*редуцентов*), взаимодействующих друг с другом и с окружающей их средой таким образом, что вся эта совокупность может сохраняться неопределенно долгое время.

В каждой экосистеме существуют две группы основных компонент: организмы (*биота*) и факторы неживой природы (*абиотические*).

Экологическая чистота – способность транспортного объекта «вписываться» в растительно-энергетические природные циклы и мера воздействия его на окружающую среду (параметры состояния среды).

Экологическое воздействие – последствия любых (преднамеренных или случайных, постепенных или катастрофических) антропогенных изменений природных объектов и факторов, связанных с транспортной деятельностью.

Экологическая безопасность промышленности и транспорта - состояние защищенности окружающей природной среды от промышленно-транспортных воздействий. При этом обеспечивается функционирование природно-технических систем в пределах допустимого изменения параметров окружающей среды.

Параметры состояния окружающей среды — температура, давление, объем газов, жидкостей, концентрации веществ, напряженность электромагнитного поля, радиоактивность и др. Они должны находиться в строгих диапазонах для обеспечения устойчивости экосистем. Транспортная деятельность может приводить к изменению значений параметров состояния на локальных участках территории.

Локальная экологическая катастрофа – многократное превышение критических (предельно допустимых) уровней и нагрузок на локальные экосистемы по различным ингредиентам и видам воздействия, в результате которых нарушается их устойчивость.

Материальные и энергетические преобразования, происходящие в экосистемах, обеспечивают поддержание жизни на Земле и заключаются в следующем[1].

1. *Экосистемы существуют за счет не загрязняющей среду солнечной энергии, поступающей на поверхность планеты в избыточном для них количестве.*

2. *Получение ресурсов, избавление от отходов происходит без загрязнения среды в рамках круговорота веществ, прежде всего круговорота соединений углерода, азота, серы, фосфора.*

3. *Реализуется принцип экологической пирамиды: чем больше биомасса популяции, тем ниже должен быть занимаемый ею трофический уровень.*

Трофическая (пищевая) цепь - ряд организмов, каждое предыдущее звено которого служит пищей следующему и одновременно является цепью передачи энергии. На первом (нижнем) трофическом уровне расположены продуценты (растения аккумулирующие солнечную энергию) и редуценты (микроорганизмы, разлагающие органическое вещество). На следующем уровне — консументы (насекомые, растительноядные животные). Далее - первичные хищники, вторичные хищники. Всего в экосистемах имеется 5 - 7 трофических уровней, так как из-за потерь энергии на поддержание обменных процессов каждому последующему трофическому уровню остается все меньше энергии.

Человек своей деятельностью стремится нарушить указанные выше принципы функционирования экосистем.

Загрязнение – любое нежелательное для экосистем антропогенное изменение. Виды загрязнений: ингредиентное, параметрическое, биоценотическое, ландшафтное[2].

Ингредиентное вызвано воздействием совокупности химических веществ, количественно и качественно чуждых естественным биогеоценозам.

Параметрическое связано с изменением качественных параметров ОС (шум, вибрации, теплота, электромагнитное излучение).

Биоценотическое заключается в воздействии на состав и структуру популяций живых организмов.

Ландшафтное представляет собой разрушение местообитания организмов и нарушение регенерационных свойств природных ландшафтов.

Антропогенная деятельность человека приводит к *потере устойчивости экосистем, их деградации и разрушению*. Это проявляется в изменении параметров окружающей среды (концентрации химических веществ, температуры, влажности воздуха, давления и др.) и сокращении биоразнообразия. Оказывается разрушенным и разомкнутым биогеохимический круговорот веществ. Поэтому природные ресурсы перестают воспроизводиться в пределах прежних естественных колебаний.

Экосистемы разрушаются также в результате:

Промышленно-транспортная экология

- возможного *изменения климата* из-за изменения концентрации отдельных газов (O₃, CO₂) в стратосфере и тропосфере;
- *снижения прозрачности атмосферы* за счет ее загрязнения;
- *изменения альбедо земной поверхности* в результате воздействия на природные ландшафты (уничтожение растительности, вспашка и орошение земель);
- *атмосферно - гидросферного закисления* (рН – эффект, который обусловлен повышением концентрации ионов водорода из-за выбросов в атмосферу оксидов азота и серы).

Последствия этих и других наблюдаемых явлений для здоровья человека недостаточно изучены. Мера этих проявлений неизвестна.

Экологический кризис – нарушение биогеохимического круговорота в результате разрушения и угнетения человеком естественных экосистем и, как следствие, нарушение устойчивости окружающей среды.

Обеспечение экологической безопасности – такое ограничение действия детерминированных и случайных факторов, когда допустимые уровни опасности не превышают порога устойчивости биоты.

Устойчивое развитие – обеспечение условий, когда контуры положительных и отрицательных обратных связей уравнивают друг друга, а основные запасы планетарной экосистемы (население, капитал, земля, невозобновимые ресурсы, уровень загрязнения) находятся в состоянии динамического равновесия и остаются постоянными.

Основными процессами *при воздействии промышленности и транспорта на окружающую среду* являются:

- горение, термогазодинамические процессы в двигателях, технологических печах и устройствах сжигания твердых, жидких и газообразных ископаемых топлив для получения электрической, тепловой энергии, пара, сжатого воздуха;
- каталитическая нейтрализация, абсорбция, перегонка жидкостей, жидкостная экстракция, адсорбция, сушка, растворение и экстрагирование, кристаллизация, массообмен, реализуемые на этапах ЖЦ объектов транспорта;
- испарение, потери топлива, эксплуатационных жидкостей, лакокрасочных и других материалов при создании, обслуживании и ремонте транспортной техники;
- износ деталей, узлов машин, элементов транспортных средств, дорожной одежды (выбросы частиц конструкционных материалов, продуктов износа шин, дорожного покрытия, фрикционных материалов);
- пластическая деформация, механическая, электромеханическая обработка материалов, очистка деталей на этапах жизненных циклов объектов транспорта;
- виброакустическое излучение движущихся объектов транспорта и частей машин, а также электромагнитное излучение электрических машин и электронных устройств, используемых для управления в технологических процессах реализации жизненных циклов объектов транспорта и управления движением, другие виды энергетического загрязнения;
- ландшафтные нарушения.

С помощью транспортных средств осуществляется перемещение материальных объектов в пространстве, источником энергии которых являются

Промышленно-транспортная экология

тепловые двигатели, преобразующие химическую энергию топлива в механическую работу.

Тепловые потоки, образующиеся при сжигании топлива автомобильным транспортом, а также в результате изменения характеристик подстилающих поверхностей (заасфальтированные территории) оказывают заметное влияние на параметры окружающей среды (температуру, давление, влажность атмосферного воздуха, направление, скорость ветра и др.) в крупных мегаполисах.

Тепловая машина (двигатель внутреннего сгорания) работает, взаимодействуя с атмосферой. Двигатель внутреннего сгорания меняет рабочее тело в каждом цикле. Такой массообмен осуществляется с атмосферой. В процессе получения полезной работы происходит теплообмен все с той же окружающей средой, т. е. принцип работы тепловой машины предполагает ее взаимодействие с окружающей средой в соответствии с законами термодинамики.

Термодинамический процесс — переход системы из одного состояния в другое в результате ее взаимодействия с окружающей средой. Если процесс происходит со скоростью значительно меньшей скорости релаксации, то на любом его этапе значения всех интенсивных параметров системы будут успевать выравниваться.

Этот процесс представляет непрерывную последовательность бесконечно близких друг к другу равновесных состояний, которые называют *квазистатическими* или *равновесными*. Равновесные процессы допускают графическое изображение в пространстве и на {плоскостях параметров состояния.

Равновесный процесс может идти как в направлении возрастания, так и убывания любого из параметров состояния, т. е. как в одном, так и в противоположном направлениях. При этом система каждый раз будет проходить через те же состояния, но в обратном порядке. Поэтому равновесные процессы являются *обратимыми*. При возвращении системы в исходное состояние окружающей среды полностью возвращается и ранее полученная от нее теплота. Таким образом, при течении в обратном направлении первоначальный процесс как бы «стирается» и никаких («следов» его не остается).

Отсутствие каких-либо остаточных изменений в системе и в окружающей среде при возвращении системы в исходное состояние является отличительным свойством обратимого процесса. Процесс, не обладающий этим свойством, называется *необратимым*. Если система совершила необратимый процесс, то ее возвращение в исходное состояние требует дополнительных энергозатрат со стороны окружающей среды. Так, работа, совершенная системой в необратимом процессе, недостаточна для обратного ее перехода в начальное состояние. Как отмечал Планк (1858—1947), «с каждым необратимым процессом система делает некоторый такой шаг вперед, следы которого ни при каких обстоятельствах не могут быть уничтожены».

Все реальные процессы вследствие *трения, теплообмена при конечной разности температур и ограниченности времени* их протекания необратимы.

Понятие обратимого процесса возникло как результат идеализации реальных необратимых процессов. Мерой необратимости служит энтропия. Она характеризует:

а) ценность теплоты (ее работоспособность и технологическую эффективность). Чем выше температура теплоносителя T при том же количестве теплоты q , т. е. чем меньше энтропия $s=(q/T)$, тем теплота ценнее, поскольку шире может быть использована не только для совершения работы, но и для технологических нужд. При температуре окружающей среды T_0 (энтропия максимальна) теплоту никак нельзя использовать;

б) потери работы из-за необратимости реальных процессов;

в) меру беспорядка. При подводе теплоты увеличивается хаотическое движение частиц (беспорядок), отводе — уменьшается неупорядоченность и, следовательно, энтропия вплоть до величины покоя (при нуле абсолютной температуры).

В общем случае бесконечно малое изменение энтропии системы определяется выражением $dS=dS_e+dS_i$, где dS_e - изменение энтропии системы, связанное с ее взаимодействием с окружающей средой; dS_i - изменение энтропии системы, обусловленное возможным протеканием внутри нее необратимых процессов, например, в ходе установления в ней внутреннего равновесия.

Если рассматривать простые однородные системы с двумя степенями свободы, то речь идет об установлении механического (выравнивание давления) и теплового (выравнивание температуры) равновесия.

В неравновесной изолированной ($dS_e = 0$) системе энтропия системы в ходе установленного внутреннего равновесия изменяется следующим образом. В ней подвод теплоты происходит к менее нагретой части от более нагретой. Именно такое направление имеют естественные процессы теплообмена, наблюдаемые в природе.

Увеличение энтропии системы при протекании в ней необратимых процессов иногда называют *производством* энтропии. По мере приближения изолированной системы к состоянию равновесия производство энтропии будет замедляться, а при установлении равновесия вовсе прекратится. Условие $dS_i = 0$ будет означать, что энтропия системы максимальна. Обобщая сказанное, можно записать $dS_i \geq 0$.

При любом переходе энергии из одного вида в другой некоторое количество первичной энергии всегда теряет свое качество (ценность), т. е. способность выполнять полезную работу. Обычно эта часть энергии вследствие трения теплопроводности или конечности времени их протекания рассеивая в виде теплоты. Высококачественная энергия (обладает низкой энтропией) в отличие от вещества не может быть восстановлена или использована повторно. Избежать увеличения энтропии (снижения качества энергии) окружающей среды в статистических системах невозможно, но можно пытаться сократить или свести к минимуму количество произведенной энтропии.

Превращение тепловой энергии в любой другой вид энергии в открытом термодинамическом процессе возможно лишь однократно, т. е. до того момента, пока рабочее тело из неравновесного состояния 1 (рис. 2) не перейдет в состояние равновесия с окружающей средой 2. Чтобы продолжить превращение,

необходимо вернуть рабочее тело из состояния 2 в состояние 1, т. е. замкнуть процесс 1-A-2, например, по линии 2-B-1.

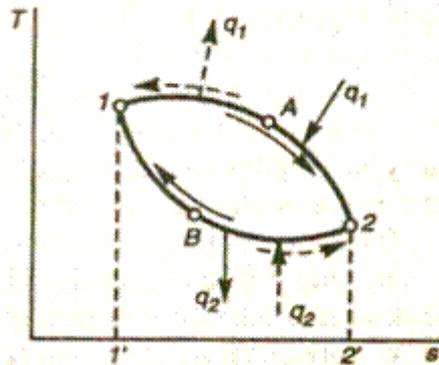


Рис 2 - Прямой и обратный произвольный термодинамический цикл

Замкнутый термодинамический процесс называется *циклом*. Все тепловые машины работают по тепловым циклам. Необходимым условием получения работы с помощью тепловых машин является наличие как *минимум двух источников теплоты*: горячего (верхнего) и холодного (нижнего). Это связано с тем, что теплота, полученная рабочим телом от верхнего источника, не может быть полностью превращена в механическую работу. Часть ее должна быть обязательно отдана нижнему источнику теплоты.

Для оценки эффективности циклов используется *термический коэффициент полезного действия* η_t — отношение количества полученной работы $w = q_1 - q_2$ к количеству затраченной работы q_1 :

$$\eta_t = w/q_1 = 1 - (q_2/q_1) \quad (1)$$

Оценку совершенства рабочего процесса тепловых двигателей можно вести относительно идеала — *цикла Карно* (рис. 3), в котором идеальный (без потерь) подвод теплоты от источника с неизменной температурой T_1 к рабочему телу осуществляется по изотерме (T_1 -const). Здесь и отвод теплоты от рабочего тела к источнику с неизменной температурой T_2 также осуществляется изотермически (T_2 -const). Поскольку другие источники теплоты отсутствуют, переходы с температурного уровня T_1 на уровень T_2 и обратно возможны лишь по адиабатам, т. е. при q_1 - const и q_2 - const.

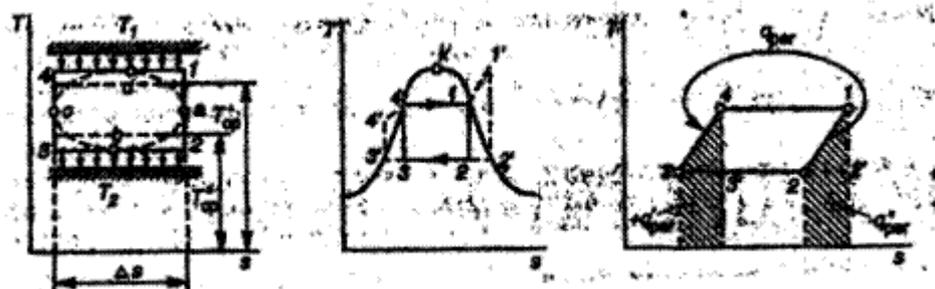


Рис 3 - Идеальный цикл тепловых машин (цикл Карно):
а – с произвольным рабочим телом; б – с паром; в – генераторный

Термический КПД цикла Карно равен

$$\eta_{tk}=1-(q_2/q_1)=1-(T_2/T_1), (2)$$

т. е. не зависит от свойств рабочего тела, а целиком определяется температурами источников T_2 и T_1 .

С помощью энтропии можно показать, что теплота теряет свое качество превращаться в работу при понижении температуры горячего источника, т. е. теряет свою *работоспособность*.

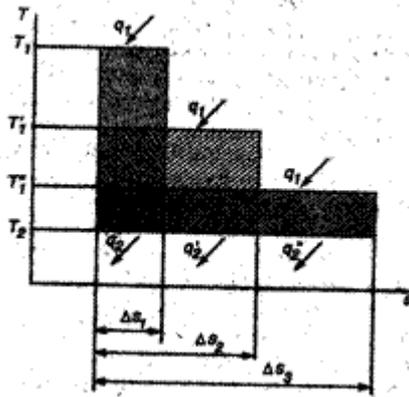


Рис. 4 - Циклы Карно в T - s - координатах при одинаковом количестве подведенной теплоты q_1 , реализуемые в разных интервалах температур

Рассмотрим график, изображенный на рис. 4, где представлены три цикла Карно, в которых температура холодного источника одинакова и равна температуре окружающей среды, т.е. $T_2=T_1=const$, а температура горячего источника разная - $T_1>T_1'>T_1''$. Подводимая теплота во всех трех циклах одинакова и равна q_1 . Отводимая теплота в первом цикле равна $q_2=T_0\Delta s_1$, во втором $q_2'=T_0\Delta s_2$ и в третьем $q_2''=T_0\Delta s_3$. Из графика следует, что при одинаковой подводимой во всех трех случаях теплоте q_1 отводимые теплоты $q_2>q_2'>q_2''$.

В полезную работу в первом цикле (где $T_1>T_1'>T_1''$) превратится максимальное количество теплоты и приращение энтропии будет минимальным. Чем в большей степени при подводе теплоты к рабочему телу увеличивается энтропия, тем КПД цикла меньше и подведенная теплота менее эффективна т. е. менее работоспособна. Следовательно, при понижении температуры горячего источника работоспособность теплоты уменьшается. При определении термического КПД цикла по традиционной формуле (2) это качество теплоты не учитывается.

Эксергия (техническая работоспособность e_q) - количество полезной энергии, полученной из исходных энергоресурсов за вычетом затраченной на ее получение полезной энергии, т. е.

$$e_q=q_1-T_0s_1=q_1-T_0(q_1/T_1) (3)$$

где T_0 температура окружающей среды, в которую отдается часть теплоты после совершения работы ($T_1>T_0$).

В силу необратимости реальных процессов ни одна тепловая машина не работает по циклу Карно. Но теоретические циклы их по совершенству использования теплоты оцениваются степенью приближения термического КПД к значению КПД идеального цикла Карно. Большинство инженерных решений, используемых для усовершенствования тепловых двигателей, направлены на приближение их цикла к циклу Карно (регенерация, промежуточный подогрев рабочего тела при подводе теплоты, промежуточное его охлаждение при отводе теплоты и др.). Теоретическое количество теплоты, которое может быть выделено при сжигании топлива, никогда не используется по назначению полностью. Часть ее теряется. В тепловых двигателях до 60—70%.

Для анализа эффективности работы двигателей используют тепловой баланс вида

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{пот}}, \quad (4)$$

$$Q_{\text{пр}} = H_{\text{и}} + Q_{\text{г}} + Q_{\text{о}}, \quad (5)$$

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{уг}} + Q_{\text{хнс}} + Q_{\text{мнс}} + Q_{\text{ту}} + Q_{\text{ос}} + Q_{\text{нп}} + Q_{\text{охл}} + Q_{\text{м}}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{пр}}$ - приход теплоты;

$Q_{\text{пол}}$ - полезно использованная теплота;

$Q_{\text{пот}}$ - потери теплоты;

$H_{\text{и}}$ - низшая теплота сгорания топлива;

$Q_{\text{г}}$ - физическая теплота, вносимая с топливом;

$Q_{\text{о}}$ - физическая теплота, вносимая с окислителем,

$Q_{\text{уг}}$ - теплота, потерянная с отработавшими газами;

$Q_{\text{хнс}}$ - теплота, невыделившаяся из-за химической неполноты сгорания (недостатка окислителя), а также из-за диссоциации продуктов сгорания при высокой температуре;

$Q_{\text{мнс}}$ - теплота, невыделившаяся из-за механической неполноты сгорания (уноса и потерь частиц горючего);

$Q_{\text{ту}}$ - теплота, израсходованная на нагрев двигателя от температуры окружающей среды до рабочей температуры;

$Q_{\text{ос}}$ - теплота, теряемая в окружающую среду за счет прямой теплопередачи двигателя;

$Q_{\text{нп}}$ - неучтенные потери теплоты;

$Q_{\text{охл}}$ - теплота, потерянная с охлаждающими агентами (антифризом, маслом, стенками цилиндров);

$Q_{\text{м}}$ - теплота, эквивалентная работе, затраченной на привод вспомогательных механизмов, на преодоление трения между деталями[3].

Способы уменьшения тепловых потерь, идущих в конечном итоге на подогрев окружающей среды, зависят от многих факторов. Так:

$Q_{\text{уг}}$ уменьшается при снижении молярной массы и температуры отработавших газов, а также с помощью регенерации, т. е. подогрева уходящими газами горючего и окислителя;

$Q_{\text{хнс}}$ уменьшается при улучшении смесеобразования, правильном выборе состава топливо-воздушной смеси и поддержания температуры горения до 2300 К;

$Q_{\text{мнс}}$ зависит от вида топлива. Твердое горючее теряется в горелочных устройствах, проваливаясь через колосники; пылевидное легко уносится, не догорев, с уходящими газами. Жидкое и газообразное топливо уносится редко, но при больших скоростях потока в топке или камере сгорания возможен и его унос;

$Q_{\text{ту}}$ уменьшается с уменьшением размеров энергоустановки, теплоемкости материалов из которых она изготовлена, ее рабочей температуры и снижением излучающей способности (наружной) поверхности;

$Q_{\text{ос}}$ уменьшается с уменьшением размеров энергоустановки, коэффициента теплоотдачи через ее стенки и коэффициента излучения поверхности в окружающую среду;

$Q_{\text{м}}$ уменьшается с улучшением качества смазки трущихся деталей (поршень и цилиндр, например), зависит от конструкции, скорости их движения и состояния поверхностей трения;

$Q_{\text{охл}}$ зависит от особенностей рабочего процесса и других факторов.

Тепловой баланс дает количественную картину распределения потерь теплоты, ничего не говоря о эксергии (работоспособности) теплоты.

В термодинамических системах, которыми являются тепловые двигатели со сменяемым рабочим телом, термодинамическую эффективность можно оценить также по эксергетическому балансу или уровню *эксергетических потерь* по формуле[4]

$$D = T_0 \sum \Delta S_i = T_0 \left(\sum_i G_i^e S_i^e - \sum_i G_i^f S_i^f \right) + \Delta Q, \quad (7)$$

где $G_i^e S_i^e$ и $G_i^f S_i^f$ - расход и энтропия i -го потока соответственно на выходе и входе соответствующего элемента системы; ΔQ - тепловые потери, т. е. количество теплоты, переданного окружающей среде разными способами.

Эксергетический анализ тепловых потерь дополняет тепловой баланс, позволяя лучше оценить качественную картину энергетических потерь в тепловых двигателях при оценке их взаимодействия с окружающей средой.

2. Понятие о горении углеводородных топлив. Материальные балансы. Механизмы горения

Для определения количественных показателей образования и потребления всех веществ, участвующих в процессе получения энергии сжигания топлива и из окружающей среды, используются уравнения материального баланса топлив.

Основным источником теплоты при сгорании топлив является окисление содержащихся атомов углерода С и водорода Н. Кроме того, в топливах могут содержаться в незначительном количестве сера, соединения азота,

Промышленно-транспортная экология

кислородсодержащие соединения (спирты, эфиры и др.), тяжелые металлы (табл. 1).

Таблица 1

Топливо	Элементный состав, % (по массе)		I ₀		H _u			
	W _c	W _H	W ₀	W _N	W _S			
Водород Сжатый			23,2	-				119,6
природный газ			16,0	0,4	-	-	34,34	46,9
Сжиженный нефтяной газ	- 71,0	84,0	12,5	-	5,3	0,1	13,63	45,5
Метанол CH ₃ OH	37,5	52,2	13,0	50,0	-	0,01	15,1 6,5	19,6
Диметилэфир	85,5	86,5	85,6	14,5	-	-	9,0	28,8
CH ₃ OCH ₃ Бензин	80,5			13,3	34,8	0,02	0,02	14,8
Дизтопливо				11,3	-	0,3	0,2	14,5
Мазут				11,3	-	-	2,3 0,	13,8
Каменный уголь			6,0	0,5	1,5	5	10,8	40,9
				11,5				32,3

Условная «молекула» имеет вид C_xH_yO_z: (для азотсодержащих топлив — C_xH_yO_zN_gS_k), для серосодержащих C_xH_yO_zN_gS_k).

Материальный баланс формируется по элементному составу топлива, выражающему относительное массовое содержание отдельных элементов при полном и неполном сгорании топлива. Рабочая масса топлива, содержащего примеси азота, серы, золы, влаги, определяется по формуле:

$$W_c + W_H + W_0 + W_N + W_S + W_A + W_w = 1 \quad (8)$$

Для приведенных в табл. 1 топлив содержание в мазуте и каменном угле золы (A) и влаги (Y) доходит соответственно до 0,2 и 9 % (мазут малосернистый), 10-40 и 4—15% (каменный уголь).

Массовые доли w отдельных элементов в 1 кг топлива C_xH_yO_z находят по известным соотношениям:

$$W_c = 12x / (12x + y + 16z) = 12x / M_T \quad (9)$$

$$W_H = y / (12x + y + 16z) = e / M_T \quad (10)$$

$$W_0 = 16z / (12x + y + 16z) = 16z / M_T \quad (11)$$

где M_T - молярная масса «условной» молекулы топлива; 12x, y, 16z - масса углерода, водорода, кислорода в молекуле топлива; w_c + w_H + w₀ = 1.

В большинстве товарных сортов бензина и дизельных топлив наличием кислорода можно пренебречь (условная «молекула» топлива C_xH_y, M_T = 12x + y).

Смесь газовых топлив состава ∑C_xH_yO_z + N₂ с объемной (молярной) долей каждого газа (φ) имеет следующий элементный состав для 1 кмоль (1 м³): молярная масса смеси газов

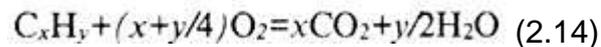
Промышленно-транспортная экология

$$M_T = \sum (M_{C_xH_yO_z})_i \varphi_i + 28r_{N_2}; \quad \sum \varphi_i + \varphi_{N_2} = 1 \quad (12)$$

и массовые доли газов

$$w_C = 12 \sum x_i \varphi_i / M_T; \quad w_H = \sum y_i \varphi_i / M_T; \quad w_O = 16 \sum z_i \varphi_i / M_T. \quad (13)$$

Полное окисление топлива. Соотношение между количеством исходных продуктов (топливо плюс воздух) и продуктов сгорания определяется из уравнений химической реакции при следующих допущениях: все химические соединения состоят из атомов отдельных элементов, связанных между собой в определенных числовых соотношениях; при химических реакциях атомы сохраняют свою индивидуальность и происходит только их перегруппировка. Полное окисление (сгорание) молекулы C_xH_y до конечных продуктов (диоксида углерода CO_2 и водяного пара H_2O) описывается уравнением (исходные и конечные продукты реакции даны в киломолях)



атомов С в 1 кмоль C_xH_y дают x кмоль CO_2 , $N_{CO_2} = x$;

y атомов Н в 1 кмоль C_xH_y дают $y/2$ кмоль H_2O , $N_{H_2O} = y/2$.

Состав продуктов сгорания в пересчете на 1 кг топлива ($1/M_T$ кмоль) будет:

$$N_{CO_2} = x/M_T = x/(12x+y), \quad N_{H_2O} = (y/2)/M_T = (y/2)/(12x+y)$$

и через элементный состав с учетом уравнений (9)—(11)

$$N_{CO_2} = w_C / 12, \quad N_{H_2O} = w_H / 2.$$

В реакции участвует $x+y/4$ кмоль O_2 , $N_{O_2} = x+y/4$.

Если в состав топлива входит кислород ($C_xH_yO_z$), то правая часть уравнения (14) останется неизменной, а необходимое для сгорания количество кислорода воздуха (кмоль) уменьшается соответственно на $z/2$, $N_{O_2} = x+y/4 - z/2$. Количество кислорода (кмоль), необходимое для полного сгорания топлива и определяемое на основании уравнения (14), называют *стехиометрическими*.

Стехиометрическое количество N_{O_2} равно:

количество (кмоль) O_2 на 1 кмоль топлива:

$$N_{O_2} = x+y/4 = \frac{w_C}{12} M_T + \frac{w_H}{4} M_T,$$

количество (кмоль) O_2 на 1 кг топлива:

$$L'_0 = N_{O_2} / M_m = (x+y/4)/(12x+y) = \frac{w_C}{12} + \frac{w_H}{4},$$

Промышленно-транспортная экология

масса (кг) O_2 на 1 кг топлива:

$$L'_0 = L'_0 M_{O_2} = (32x + 8y) / (12x + y) = \frac{8}{3} w_c + 8w_H.$$

Теплота сгорания топлива H_u (МДж/кг топлива), т. е. тепловой эффект реакций, идущих с образованием CO_2 и H_2O , определяется по формуле Д. И. Менделеева

$$L'_0 = L'_0 M_{O_2} = (32x + 8y) / (12x + y) = \frac{8}{3} w_c + 8w_H. \quad (15)$$

Масса кислорода, потребляемая из атмосферы для полного сгорания топлива (кг/кг топлива),

$$m_{O_2} = 0,23 \alpha l_0, \quad (16)$$

где l_0 — *стехиометрическое число*. Принимая объемную долю кислорода в воздухе 21 % и массовую 23,2%, найдем стехиометрическое количество воздуха, необходимое для полного сгорания топлива:

количество (кмоль) воздуха на 1 кг топлива:

$$L_0 = L'_0 / 0,21 = 1 / 0,21 (x + y/4) / (12x + y) = 1 / 0,21 (W_c / 12 + W_H / 4),$$

масса (кг) воздуха на 1 кг топлива:

$$l_0 = l'_0 / 0,232 = 138 (x + y/4) / (12x + y) = 138 (W_c / 12 + W_H / 4).$$

Для газовых топлив, представляющих смесь углеводородов с состава $C_x H_y O_z$

с объемной долей φ_i углеводорода, L_0 $\left(\frac{\text{кмоль}(\text{м}^3) \text{воздуха}}{\text{кмоль}(\text{м}^3) \text{топлива}} \right)$:

$$L_0 = \sum (x + y - z/2) \varphi_i / 0,21. \quad (17)$$

В формуле (2.16) α - коэффициент избытка воздуха - отношение количества воздуха, содержащегося в топливовоздушной смеси G_v к его минимальному количеству, которое теоретически необходимо для полного сгорания всего находящегося в ней топлива G_T :

$$\alpha = G_v / (G_T l_0), \quad (18)$$

где G_T - часовой расход топлива, кг/ч; $G_T l_0$ - минимальное, теоретически необходимое для полного сгорания топлива количество воздуха, кг/ч. Если $\alpha = 1$, то смесь стехиометрического (теоретического) состава; $\alpha > 1,0$, — смесь бедная; $\alpha < 1,0$, - смесь богатая. Для дизелей $\alpha = 1,4-2,2$ (номинальный режим) и 4-5 - холостой ход, карбюраторных ДВС $\alpha = 0,8-1,2$.

В табл. 2 приведены данные о потреблении кислорода и выделении диоксида углерода, паров воды в результате полного сгорания топлив.

Лекция №2

Виды загрязнений окружающей среды. Образование токсичных веществ при горении

1. Виды загрязнений окружающей среды. Характеристика загрязняющих веществ.
2. Физико-химические процессы при воздействии промышленности и транспорта на окружающую среду.
3. Образование токсичных веществ при горении

Источники загрязнения многочисленны и разнообразны и по своей природе.

Различают естественное и антропогенное загрязнение атмосферы. Естественное загрязнение возникает, как правило, в результате природных процессов вне всякого влияния человека, А антропогенное - в результате деятельности людей.

Естественное загрязнение атмосферы обусловлено поступлением в неё вулканического пепла, космической пыли (до 150-165 тыс. т ежегодно), растительной пыльцы, морских солей и т.п. Основными источниками природной пыли являются пустыни, вулканы и оголенные участки земель.

К антропогенным источникам загрязнения атмосферного воздуха относятся энергетические установки, сжигающие ископаемое топливо, промышленные предприятия, транспорт, сельскохозяйственное производство. Из всего количества загрязняющих веществ, выброшенных в атмосферу, около 90 % составляют газообразные вещества и около 10 % — частицы, т.е. твердые или жидкие вещества.

В таблице №1 приведены экспертные оценки выделения некоторых вредных веществ как природными, так и антропогенными источниками-

Таблица №1

Выделение (105 т/сут) некоторых газообразных веществ

ВЕЩЕСТВО	ИСТОЧНИК	
	Природный	Антропогенный
Диоксид серы	—	0,4
Сероводород	0,3	0,01
Оксиды азота	2	0,2
Аммиак	3	0,01
Углеводороды	2	0,2
Оксид углерода	10	1
Диоксид углерода	3000	50

Согласно приведенной таблице, природные источники выделяют больше вредных веществ, тем не менее, самым опасным являются антропогенное

Промышленно-транспортная экология

поступление. Это связано с тем, что вредные вещества антропогенного происхождения накапливаются в зоне обитания человека. Кроме того, вредные специфические вещества, не существовавшие ранее в природных условиях, в настоящее время становятся составной частью атмосферного воздуха, его микроэлементами.

К основным источникам промышленного загрязнения атмосферного воздуха относятся предприятия энергетики, металлургии, стройматериалов, химической и нефтеперерабатывающей промышленности, производства удобрений.

От предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности в воздух в больших количествах поступают углеводороды, диоксид серы, оксиды азота, сероводород, аммиак, хлор, фенол, формальдегид, ацетон, бензол, толуол и другие вещества. Значительные потери углеводородов (C_nH_n) и других веществ на нефтеперерабатывающих и нефтехимических промышленных предприятиях, приводящие к загрязнению атмосферного воздуха, - свидетельство необходимости разработки и реализации мероприятий по снижению выбросов и выделений.

Основными источниками антропогенного загрязнения атмосферы химическими веществами, поступающие в воздух в газообразном, жидком или твердом состоянии, являются промышленность и транспорт.

В последнее десятилетие поступление загрязняющих веществ от отдельных отраслей производства и транспорта распределилось в порядке, приведенном в таблице №2.

Таблица 2 - Оценка участия отраслей производства и транспорта в загрязнении атмосферы Земли

Отрасли производства	Доля загрязнения в %
Металлургия черная и цветная	35
Теплоэлектростанции	27
Нефтедобывающая и химическая промышленность	17
Автомобильный транспорт	13
Остальные отрасли	8

Однако по отдельным регионам это распределение отличается от приведенного в таблице №2 и зависит в первую очередь от состава и степени концентрации в них промышленности и транспорта.

В России основное загрязнение атмосферы создают пять отраслей промышленности, автотранспорт и энергетика. Их относительное участие в загрязнение атмосферы распределяется следующим образом: теплоэнергетика - 27,0 %;

металлургия (черная, цветная) - 25,8 %;

нефтедобыча и нефтехимия 15,5 %;

автотранспорт -13,3%;

предприятия стройматериалов -8,1 %;

химическая промышленность -1,3%.

Роль пыли в атмосферном воздухе неоднозначна. Частицы пыли, являясь ядрами конденсации при образовании облаков и туманов, выполняют важную положительную роль в круговороте воды и других веществ в окружающей нас природе. Без частиц пыли не было бы ни облаков, ни туманов. С увеличением запыленности атмосферы, особенно за счет аэрозолей искусственного происхождения, очевидны и негативные последствия. Снижение солнечной энергии, проникающей через увеличившуюся облачность, отрицательно влияет на климат планеты, а повышение концентрации активных соединений - на флору и фауну, а также на здоровье человека.

Не исключено, что при сохранении темпов загрязнения атмосферы продуктами деятельности человека ситуация в ближайшие годы существенно ухудшится и концентрация пыли увеличится до уровня, оказывающего постоянное негативное воздействие на климат планеты.

В результате хозяйственной деятельности человека в атмосфере появляются большое количество загрязняющих веществ. Взаимодействие атмосферного воздуха с водой и почвой приводит к качественным и количественным изменениям всей биосферы в целом, усиливая и ускоряя нежелательные изменения состава и структуры атмосферного воздуха, климата Земли. Наиболее сильные изменения климата и качества атмосферного воздуха наблюдается в крупных городах. Если кислород в атмосферном воздухе будет очень сильно загрязнён всевозможными веществами, то постепенно у всего живого на Земле будет сокращаться срок жизни, пока не уменьшится до истребления всех и всего.

Стремительное развитие всех отраслей промышленности, энергетики, транспорта, увеличение численности населения и урбанизация, химизация всех сфер деятельности человека привели к определённым изменениям окружающей природной среды, в том числе неблагоприятным, заключающимся главным образом в загрязнении биосферы. Воздействие вредных веществ антропогенного происхождения на природную среду, а так же отклик среды на эти воздействия становятся глобальными всеобъемлющими. Поэтому вопросы наблюдений, охраны и контроля природной среды в условиях научно-технической революции являются составной и неотъемлемой частью социального развития общества.

В нашей стране хорошо осознаётся опасность возможных негативных последствий воздействия человека на природу (хотя мы и не разделяем мнения о неизбежности наступления экологического кризиса) и принимаются действенные меры по регулированию взаимодействия человека с окружающей его средой. Конечно, решение этой проблемы заключается не в ограничении развития человеческого общества, а в оптимизации его отношений с природой, в разумном преобразовании природы, рациональном использовании её ресурсов в интересах нынешнего и будущих поколений.

Автотранспорт как основной источник загрязнения атмосферного воздуха.

К мобильным источникам относятся автомобили и транспортные механизмы, передвигающиеся по земле, по воде и по воздуху. В больших городах

Промышленно-транспортная экология

к числу основных источников загрязнения атмосферного воздуха относится автотранспорт. Отходящие газы двигателей содержат сложную смесь, их более чем двухсот компонентов, среди которых немало канцерогенов. Наземные транспортные средства - это механизмы, передвигающиеся по шоссейным и железным дорогам, а также строительное, сельскохозяйственное и военное оборудование. В соответствии с различиями в количествах и видах выбрасываемых загрязняющих веществ целесообразно рассматривать в отдельности двигатели внутреннего сгорания (особенно двух- и четырехтактные) и дизели и, аналогичным образом, паровые и дизельные локомотивы. В таблице №3 указаны выбросы от мобильных источников.

Таблица 3 - Основные виды выбросов загрязняющих веществ от мобильных источников

ТИП ДВИГАТЕЛЯ	ТОПЛИВО	ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ЗАГРЯЗНЕНИЙ	ПРИМЕРЫ
Четырехтактный двигатель внутреннего сгорания	Бензин	Углеводороды, оксид углерода, оксиды азота	Автомобили, автобусы, самолеты, мотоциклы
Двухтактный двигатель внутреннего сгорания	Бензин (с добавлением масла)	Углеводороды, оксид углерода, оксид азота, твердые вещества	Мотоциклы, вспомогательные моторы
Дизель	Лигроин	Оксиды азота, твердые вещества	Автобусы, трактора, машины, поезда
Газовая турбина	Бензин	Оксиды азота, твердые вещества	Самолеты, корабли, поезда
Паровой котел	Уголь, нефть	Оксиды азота, диоксид серы, твердые вещества	Корабли, паровозы

Вредные вещества при эксплуатации подвижных транспортных средств поступают в воздух с отработавшими газами, испарениями из топливных систем и при заправке, а так же с картерными газами. На выбросы оксида углерода значительное влияние оказывает рельеф дороги и режим движения автомашины.

Так, например, при ускорении и торможении в отработавших газах увеличивается содержание оксида углерода почти в 8 раз. Минимальное количество оксида углерода выделяется при равномерной скорости автомобиля 60 км/ч.

В таблице №4 приведены значения концентрации основных примесей карбюраторного двигателя при различных режимах его работы.

Таблица 4 - Концентрация веществ в зависимости от режима работы карбюраторного двигателя

Режим работы двигателя	Оксид углерода, %	Углеводороды, мг/л	Оксиды азота, %
------------------------	-------------------	--------------------	-----------------

Промышленно-транспортная экология

	по объёму	мг/л	
Холостой ход	4-12	2-6	—
Принудительный холостой ход	2-4	8-12	—
Средние нагрузки	0-1	0,8-1,5	2,5-4,0
Полные нагрузки	2	0,7-0,8	4-8

Выбросы оксидов азота максимальны при отношении воздух - топливо 16:1.

Таким образом, значения выбросов вредных веществ в отработавших газах автотранспорта зависят от целого ряда факторов: отношения в смеси воздуха и топлива, режимов движения автотранспорта, рельефа и качества дорог, технического состояния автотранспорта и др. Состав и объёмы выбросов зависят также от типа двигателя. В таблице 5 показаны выбросы ряда вредных веществ карбюраторного и дизельного двигателей.

Таблица 5 - Выбросы (% по объёму) веществ при работе дизельных и карбюраторных двигателей

ВЕЩЕСТВО	ДВИГАТЕЛЬ	
	Карбюраторный	Дизельный
Оксид углерода	0,5-12,0	0,01-0,5
Оксид азота	0,005-0,8	0,002-0,5
Углеводороды	0,2-0,3	0,009-0,5
Бенз(а)пирен	До 20 мкг/м3	До 10 мкг/м3

Как видно из данных таблицы 5, выбросы основных загрязняющих веществ значительно ниже в дизельных двигателях. Поэтому принято считать их более экологически чистыми. Однако дизельные двигатели отличаются повышенными выбросами сажи, образующейся вследствие перегрузки топлива. Сажа насыщена канцерогенными углеводородами и микроэлементами; их выбросы в атмосферу недопустимы.

В связи с тем, что отработавшие газы автомобилей поступают в нижний слой атмосферы, а процесс их рассеяния значительно отличается от процесса рассеяния высоких стационарных источников, вредные вещества находятся практически в зоне дыхания человека. Поэтому автомобильный транспорт следует отнести к категории наиболее опасных источников загрязнения атмосферного воздуха вблизи автомагистралей.

В таблице 6 приведены эти величины для автомобильных выбросов

Таблица 6 - Средние удельные выбросы (коэффициенты выбросов) автотранспорта

ВИД ЗАГРЯЗНЯЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА	СРЕДНИЙ УДЕЛЬНЫЙ ВЫБРОС (ПРИ СРЕДНЕЙ	
	СКОРОСТИ ТРАНСПОРТА 31,7 КМ/Ч)	
	В час	На километр
Оксид углерода	752 г/ч	23,7 г/км

Промышленно-транспортная экология

Несгоревшие углеводороды	29,4 г/ч	0,93 г/км
Оксиды азота	33,2 г/ч	1,05 г/км
Свинец	1,11 г/ч	0,035 г/км
Суммарное количество выхлопных газов (при 00 С)	28,95 м3/ч	0,914 м3/км
Средний расход топлива	2,75 кг/ч	0,087 кг/км

3. Образование токсичных веществ при горении

В камерах сгорания тепловых двигателей на механизм образования продуктов неполного сгорания и характер побочных реакций, протекающих при горении, влияет структура фронта пламени, тип двигателя, вид топлива и др.

Типичное содержание различных веществ в отработавших газах двигателей приведено в табл.7

Таблица 7- Состав отработавших газов двигателей, % (объемная доля)

Вещество	Тип двигателя	
	Бензиновый	Дизель
O ₂	0,05 – 8,0	2,0 – 18,0
CO ₂	5 – 12,5	1 – 12
H ₂ O	3 – 13	0,5 – 10
N ₂	74 – 77	76 – 78
NO _x	0,05 – 0,5	0,1 – 1,0
CO	0,1 – 10	0,01 – 0,5
C _x H _y	0,2 – 2,0	0,01 – 0,5
Альдегиды	0 – 0,2	0 – 0,05
Сажа	До 100*	До 20 000*
SO ₃	0,003*	0,015*
Бенз(а)пирен	25**	10

*в миллиграммах на кубический метр (мг/м³)

**в микрограммах на кубический метр, (мкг/м³)

Вредные и токсичные вещества, содержащиеся в отработавших газах двигателей, в зависимости от механизма их образования можно разделить на следующие группы:

- углеродсодержащие вещества – продукты полного и неполного сгорания топлив (CO₂, CO, углеводороды, в том числе полициклические ароматические, сажа);

- вещества, механизм образования которых непосредственно не связан с процессом сгорания топлива (оксиды азота – по термическому механизму);

- вещества, выброс которых связан с примесями, содержащимися в топливе (соединения серы, свинца, других тяжелых металлов), воздухе (кварцевая пыль, аэрозоли), а также образующимися в процессе износа деталей (оксиды металлов).

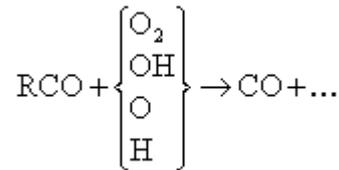
Рассмотрим подробнее механизмы образования тех веществ, содержание которых в отработавших газах двигателей нормируется или предполагается нормировать в будущем.

Моноксид углерода (CO)

Моноксид углерода CO образуется в ходе предпламенных реакций, при сгорании углеводородного топлива с некоторым недостатком воздуха, а также при диссоциации CO₂ (при температурах более 2000 K). Образование CO является одним из принципиально возможных направлений реакций в механизме горения (окисления) углеводородов, которое можно представить так:



Реакция радикала RCO, приводящая к образованию CO, может протекать в результате одновременного взаимодействия с четырьмя компонентами:



что типично для бензиновых двигателей.

В дизелях вероятность указанных превращений во фронте пламени мала и в отработавших газах содержится меньше CO.

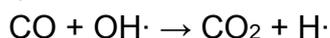
Но в цилиндрах находятся дополнительные источники его появления:

- низкотемпературные участки пламени стадии воспламенения топлива;
- капли топлива, поступающие в камеру на поздних стадиях впрыска и сгорающие в диффузионном пламени при недостатке кислорода;
- частицы сажи, образовавшейся в период распространения турбулентного пламени по гетерогенному заряду, в котором при общем избытке кислорода могут создаваться зоны с его дефицитом и осуществляться реакции типа:

Диоксид углерода (CO₂)

Диоксид углерода CO₂ является не токсичным, но вредным веществом в связи с фиксируемым повышением его концентрации в атмосфере планеты и его влиянием на изменение климата. Предпринимаются шаги по регламентированию его выброса объектами энергетики, промышленности и транспорта.

Основная доля образовавшегося в камере сгорания CO окисляется до CO₂, не выходя за пределы камеры, ибо замеренная объемная доля диоксида углерода в отработавших газах составляет 10 – 15 %, т.е. в 300 – 450 раз больше, чем в атмосферном воздухе. Наибольший вклад в образование CO₂ вносит реакция:



которая является необратимой. Окисление CO в CO₂ происходит в выпускной трубе, а также в нейтрализаторах (дожигателях) отработавших газов, которые устанавливаются на современных автомобилях для принудительного окисления CO и несгоревших углеводородов до CO₂ в связи с необходимостью выполнения норм токсичности.

Величина выбросов CO_2 зависит от физико-химических и тепло-физических свойств топлив и их расхода. При использовании в качестве моторного топлива водорода в продуктах сгорания CO_2 отсутствует.

Углеводороды (C_xH_y)

Углеводороды – это несколько десятков наименований веществ, образующихся в результате:

- реакций цепочно-теплого взрыва – пиролиза и синтеза (**полициклические ароматические углеводороды** (ПАУ), альдегиды, фенолы);
- неполноты сгорания в результате нарушения процесса горения из-за прекращения реакций окисления углеводородов при низких температурах, неоднородности топливовоздушной смеси, пропусков зажигания в отдельных циклах или цилиндрах двигателя (несгоревшие компоненты топлива и масла).

Наиболее токсичны из углеводородов ПАУ. Максимальный уровень токсичности (агрессивность \times концентрация) имеет бенз(α)пирен $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$. Гипотетическая реакция образования $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ при пиролизе углеводородных топлив при температуре более 873 К может быть записана в виде:

где C_6H_2 – полирадикал, представляющий зародыш сажи; C_2H_2 , C_2H – элементные строительные блоки. Бенз(α)пирен образуется одновременно с сажей по сходному механизму, который рассматривается далее.

Твердые частицы

Твердые частицы включают **нерастворимые** (твердый углерод, оксиды металлов, диоксид кремния, сульфаты, нитраты, асфальты, соединения свинца) и **растворимые в органическом растворителе** (смолы, фенолы, альдегиды, лак, нагар, тяжелые фракции, содержащиеся в топливе и масле) вещества.

Твердые частицы в отработавших газах дизелей с наддувом состоят на 68 – 75 % из нерастворимых веществ, на 25 – 32 % – из растворимых.

Сажа (твердый углерод) является основным компонентом нерастворимых твердых частиц. Образуется при объемном пиролизе (термическом разложении углеводородов в газовой или паровой фазе при недостатке кислорода). Механизм образования включает несколько стадий:

- образование зародышей;
- рост зародышей до первичных частиц (шестиугольных пластинок графита);
- увеличение размеров частиц (коагуляция) до сложных образований – конгломератов, включающих 100 – 150 атомов углерода;
- выгорание.

Выделение сажи из пламени происходит при недостатке кислорода (воздуха). В отрегулированных двигателях с внешним смесеобразованием и искровым зажиганием (бензиновых, газовых) вероятность появления таких зон незначительна. У дизелей локальные переобогащенные топливом зоны образуются чаще, и в полной мере реализуются перечисленные процессы сажеобразования. Поэтому выбросы сажи с отработавшими газами у дизелей больше, чем у двигателей и искровым зажиганием. Образование сажи зависит от свойств топлива: чем больше отношение C/H в топливе, тем выход сажи выше.

Выгорание сажи в высокотемпературном турбулентном газовом потоке при температуре 850 – 920 К определяет уровень её эмиссии, В процессе выгорания происходят диффузия и сорбция на поверхности конгломератов сажи твердых иглообразных образований ПАУ, которые относятся к классу опасных загрязнителей.

В состав твердых частиц, кроме сажи входят, соединения серы и свинца.

Сера, содержащаяся в моторном топливе, во время горения интенсивно окисляется в SO₂ по механизму, схожему с механизмом образования CO. Диоксид серы может окисляться (с существенно меньшей скоростью) до SO₃ по уравнению:

Далее происходит реакция SO₃ с парами воды, приводящая к образованию H₂SO₄, которая протекает на стенках при температуре ниже 815 К.

Свинец в составе твердых частиц (из-за использования этилированных бензинов) присутствует в виде соединений галогенидов свинца, которые образуются по сходному механизму образования сажи.

Оксиды азота (NO_x)

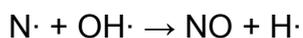
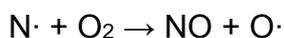
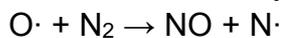
Оксиды азота представляют набор следующих соединений: N₂O, NO, N₂O₃, NO₂, N₂O₄ и N₂O₅. Преобладает NO (99 % в бензиновых двигателях и более 90 % в дизелях).

В камере сгорания NO может образовываться:

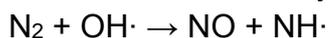
- 1) при высокотемпературном окислении азота воздуха (**термический NO**);
- 2) в результате низкотемпературного окисления азотсодержащих соединений топлива (**топливный NO**);
- 3) из-за столкновения углеводородных радикалов с молекулами азота в зоне реакций горения при наличии пульсаций температуры (**быстрый NO**).

В камерах сгорания доминирует термический NO, образующийся из молекулярного азота во время горения бедной топливовоздушной смеси и смеси, близкой к

стехиометрической, за фронтом пламени в зоне продуктов сгорания. Преимущественно при сгорании бедных и умеренно богатых смесей реакции происходят по цепному механизму:



В богатых смесях осуществляются также реакции



В бедных смесях выход NO определяется максимальной температурой цепочно-теплового взрыва (максимальная температура 2800 – 2900 К), т.е. кинетикой образования. В богатых смесях выход NO перестает зависеть от максимальной температуры взрыва и определяется кинетикой разложения. При горении бедных смесей значительное влияние на образование NO оказывает неравномерность температурного поля в зоне продуктов сгорания и присутствие паров воды, которая в цепной реакции окисления N₂ является ингибитором.

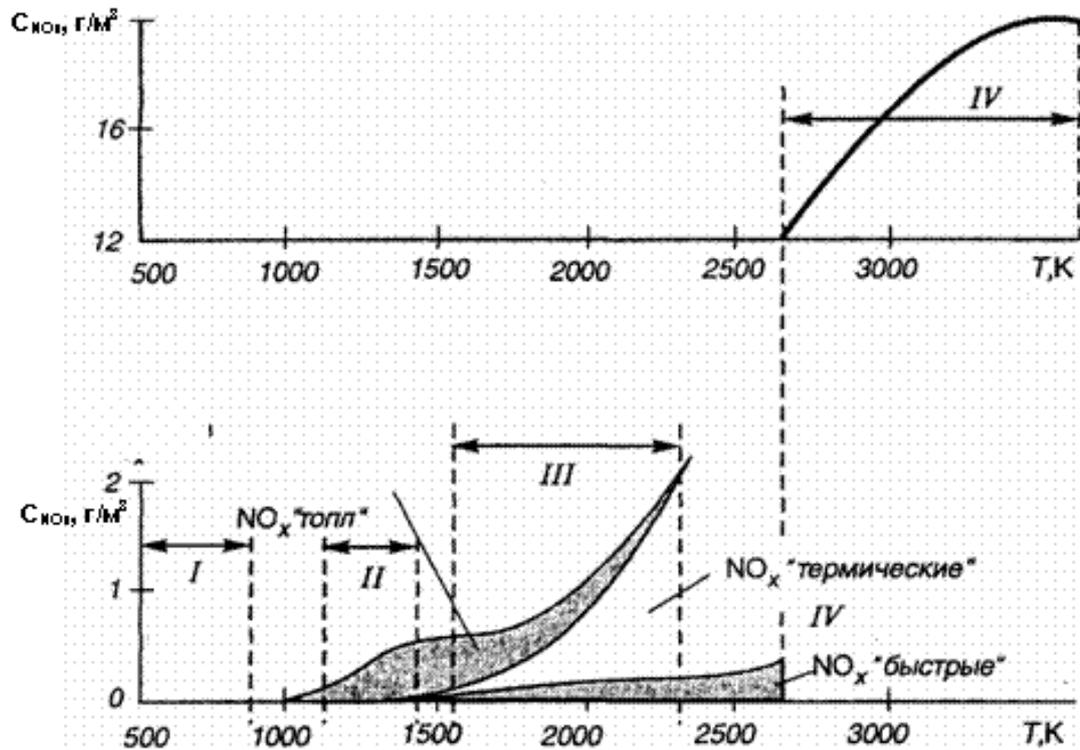


Рис. 4.1. Вклад отдельных механизмов образования NO в его общий выход

Высокая интенсивность процесса нагревания, а затем охлаждения смеси газов в цилиндре двигателя внутреннего сгорания (ДВС) приводит к образованию неравновесных концентраций реагирующих веществ. Происходит как бы замораживание (закалка) образовавшегося NO на уровне максимальной концентрации, NO обнаруживается в выпускных газах из-за резкого замедления скорости его разложения.

Азотсодержащие составляющие топлива (амины, циклические соединения в виде пиридина, карбазола) являются важными источниками образования топливного NO уже при температурах 1300 – 1400 К, так как на это требуется энергии меньше, чем на разрушение связей молекулярного азота. Эти вещества легче вступают в реакцию окисления, чем атмосферный азот.

Таким образом, в процессах горения топлив в топочных устройствах оксиды азота могут образовываться в зависимости от температуры (рис. 4.1).

Можно выделить четыре характерные зоны:

I до $T < 850$ К – каталитическое окисление топлива. NO не образуется;

II до $T < 1500$ К – горение в псевдооживленном слое твердого топлива. Образуется преимущественно топливный NO;

III факельное горение в танках котлов: до $T < 2000$ К образуется NO по всем трем механизмам, а при более высоких температурах основной компонент – термический NO;

IV $T = 2800 - 3200$ К – образование плазмы. Следует ожидать максимального выхода термических оксидов азота, концентрация которых будет на порядок больше, чем в существующих энергоблоках (1 – 1,5 г/м³).

Лекция №3

Способы разделения неоднородных смесей. Процессы нейтрализации и электрохимической очистки.

План:

1. Способы разделения неоднородных смесей
2. Процессы нейтрализации и электрохимической очистки
3. Параметрические процессы: шум, вибрация, электромагнитное излучение, ионизирующее излучение

1. Способы разделения неоднородных смесей

Понятием (термином) «неоднородные смеси» объединяются составы из компонентов, находящихся в различном агрегатном состоянии – твердом, жидком, газообразном. Один из компонентов обязательно представлен в виде мелких и/или мельчайших частиц. Взвешенные частицы образуют дисперсную фазу, а оставшаяся часть – общую (сплошную) фазу неоднородной смеси. Исходя из состава, они классифицируются следующим образом:

Суспензии – твердая взвесь в жидкости;

Эмульсии – две и более взаимно нерастворимых и не вступающих в реакцию жидкости;

Газовые взвеси – твердые частицы в газообразной среде.

Для разделения неоднородных смесей в зависимости от их вида применяются механические, термические и электрохимические способы, использующие физические характеристики компонентов смеси.

Механические способы разделения неоднородных смесей

Сточные воды являются наиболее распространенным аналогом суспензии. На примере процесса очистки сточных вод можно достаточно получить полное представление о существующих механических способах разделения неоднородных смесей:

Отстаивание;

Фильтрование;

Флотация;

Обезвоживание.

Как и в случае любых других жидких неоднородных смесей, на первичной стадии очистки используется механический способ разделения – песколовки, решетки и другие устройства, улавливающие самые крупные и тяжелые фрагменты смесей.

Следующая стадия - отстаивание, которое нередко объединяется с фильтрованием и/или флотацией и заключается в использовании различий плотности твердых и жидких компонентов неоднородной смеси. Более тяжелые относительно воды частицы опускаются на дно отстойника, а более легкие (всплывающие или флотирующие) собираются на поверхности отстойника, откуда удаляются. Осветленная жидкость сливается, а оставшаяся часть является собственно суспензией. С течением времени, когда взвесь становится мельче,

процесс отстаивания резко замедляется, и для его ускорения могут использоваться коагулянты, адсорбенты, абсорбенты и другие химические реактивы.

Пассивное фильтрование суспензий является наиболее простым способом, но требует больших площадей, поэтому чаще используют активные ленточные, дисковые или барабанные вакуум-фильтры. Другим способом активного механического разделения жидких суспензий являются центрифуги и гидроциклоны. Эти аппараты позволяют достигать максимального обезвоживания таких смесей. Термические способы используются, когда вязкость суспензии не позволяет применять другие способы разделения.

Основным способом разделения эмульсий является использование центрифуг с высокой скоростью вращения, включая сверхцентрифуги для разделения особо устойчивых эмульсий. Газовые взвеси разделяются в скоростных циклонах, электрическими и комбинированными устройствами, которые собирают (осаждают) твердые частицы на стенках и/или электродах. Если неоднородные смеси содержат радиоактивные компоненты, сульфаты и другие опасные вещества, используются специальные технологии их разделения и утилизации.

Характеристики жидких неоднородных смесей и выбор способа разделения

К числу основных характеристик жидких неоднородных смесей относятся:

Концентрация (плотность) дисперсной и общей фазы – выражается в массовых и объемных долях или в %;

Вязкость (зависит от концентрации дисперсной фазы, формы и размера ее частиц);

Насыщенность, выражающая содержание влаги в порах (капиллярах) осадка.

Например, высокая вязкость или концентрация суспензий (30-40%) не позволяет использовать для их разделения гидроциклоны и центрифуги. Сильная дисперсия (слишком мелкие частицы) требует дополнительного оснащения к обычному оборудованию или использования специальных химических реактивов. Собранные в результате разделения неоднородных смесей компоненты утилизируются или становятся вторичным сырьем.

Методы, повышающие эффективность и скорость процессов разделения неоднородных систем

В случае если дисперсные частицы выделяются медленно из среды или необходимо предварительно осветлить неоднородную систему, используются такие методы как флокуляция, флотация, классификация, коагуляция и т.д.

Коагуляция – процесс слипания частиц в коллоидных системах (эмульсиях или суспензиях) с образованием агрегатов. Слипание происходит вследствие столкновения частиц при броуновском движении. Коагуляция относится к самопроизвольному процессу, который стремится перейти в состояние, имеющее более низкую свободную энергию. Порог коагуляции – это минимальная концентрация введенного вещества, которое вызывает коагуляцию. Искусственно коагуляция может быть ускорена при добавлении в коллоидную систему специальных веществ – коагуляторов, а также приложением к системе

электрического поля (электрокоагуляция), механическим воздействием (вибрация, перемешивание) и т.д.

При коагуляции достаточно часто добавляют в разделяемую неоднородную смесь химические вещества-коагулянты, которые разрушают сольватированные оболочки, уменьшая при этом диффузионную часть двойного электрического слоя, расположенного у поверхности частиц. Благодаря этому облегчается агрегация частиц и образование агрегатов. Таким образом, за счет образования более крупных фракций дисперсной фазы, происходит ускорение осаждения частиц. В качестве коагулянтов применяют соли железа, алюминия или соли других поливалентных металлов.

Пептизация – это процесс обратный коагуляции, представляющий собой распад агрегатов на первичные частицы. Пептизация осуществляется при помощи добавления веществ-пептизаторов в дисперсионную среду. Данный процесс способствует дезагрегированию веществ на первичные частицы. Веществами-пептизаторами могут быть поверхностно-активные вещества (ПАВ) или электролиты, например, гуминовые кислоты или хлорное железо. Процесс пептизации используется для получения жидких дисперсных систем из паст или порошков.

В свою очередь флокуляция является разновидностью коагуляции. При данном процессе мелкие частицы, которые находятся во взвешенном состоянии в газовых или жидких средах, образуют хлопьевидные агрегаты, которые называются флокулами. В качестве флокулянтов применяются растворимые полимеры, например, полиэлектролиты. Вещества, образующие хлопья при флокуляции, могут быть легко удалены при помощи фильтрования или отстаивания. Флокуляция используется для подготовки воды и выделения ценных веществ из сточных вод, а также при обогащении полезных ископаемых. В случае водоочистки флокулянты используются в небольшой концентрации (от 0,1 до 5 мг/л).

Для того чтобы разрушить агрегаты в жидких системах, используются добавки, наносящие заряды на частицы, которые препятствуют их сближению. Данного эффекта можно достигнуть и при изменении pH среды. Данный метод называется дефлокуляцией.

Флотация – процесс отделения твердых гидрофобных частиц от жидкой сплошной фазы путем их избирательного закрепления на границе раздела жидкой и газообразной фаз (поверхность соприкосновения жидкости и газа или поверхность пузырьков в жидкой фазе) Образующаяся система из твердых частиц и газовых включений удаляется с поверхности жидкой фазы. Данный процесс применяется не только для того, чтобы удалять частицы дисперсной фазы, но также и для разделения разных частиц вследствие различия их смачиваемости. При данном процессе гидрофобные частицы закрепляются на границе раздела фаз и отделяются от гидрофильных частиц, оседающих на дно. Наилучшие результаты флотации возникают в том случае, когда размер частиц составляет от 0,1 до 0,04 мм.

Флотация бывает нескольких видов: пенная, масляная, пленочная и т.д. Наиболее распространенной является пенная флотация. Данный процесс

позволяет выносить частицы, обработанные реагентами, на поверхность воды при помощи пузырьков воздуха. Это позволяет образовывать пенный слой, устойчивость которого регулируется при помощи пенообразователя.

Классификация используется в аппаратах переменного сечения. С ее помощью возможно отделение определенного количества мелких частиц от основного продукта, состоящего из крупных частиц. Классификация выполняется при помощи центрифуг и гидроциклонов благодаря воздействию центробежной силы.

Разделение суспензий при помощи магнитной обработки системы является очень перспективным методом. Вода, которая обработана в магнитном поле, длительное время сохраняет измененные свойства, например, пониженную смачивающую способность. Данный процесс позволяет интенсифицировать разделение суспензий.

2. Процессы нейтрализации и электрохимической очистки

К химическим методам очистки сточных вод относят нейтрализацию, окисление и восстановление. К окислительным методам относится также электрохимическая обработка. Их применяют для удаления растворимых веществ в замкнутых системах водоснабжения. Химическую очистку проводят иногда как предварительную перед биологической очисткой или после нее как метод доочистки сточных вод.

Основными методами химической очистки сточных вод являются нейтрализация и окисление.

Нейтрализация сточных вод

Сточные воды, содержащие минеральные кислоты или щелочи, перед сбросом их в водоемы или перед использованием в технологических процессах нейтрализуют. Практически нейтральными считаются воды, имеющие рН 6,5...8,5.

Нейтрализацию можно проводить различным путем: смешением кислых и щелочных сточных вод, добавлением реагентов, фильтрованием кислых вод через нейтрализующие материалы, абсорбцией кислых газов щелочными водами или абсорбцией аммиака кислыми водами. В процессе нейтрализации могут образовываться осадки.

Для нейтрализации кислых вод используют: NaOH, KOH, Na₂CO₃, NH₄OH (аммиачная вода), CaCO₃, MgCO₃, доломит (CaCO₃·MgCO₃), цемент. Наиболее доступным реагентом является гидроксид кальция (известковое молоко) с содержанием 5...10% активной извести Ca(OH)₂. Иногда для нейтрализации применяют отходы производства, например шлаки металлургических производств.

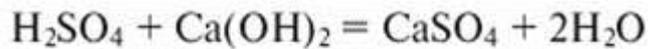
Реагенты выбирают в зависимости от состава и концентрации кислой сточной воды. Различают три вида кислотосодержащих сточных вод:

воды, содержащие слабые кислоты (H₂CO₃, CH₃COOH);

воды, содержащие сильные кислоты (HCl, HNO₃);

воды, содержащие серную и сернистую кислоты.

При нейтрализации производственных сточных вод, содержащих серную кислоту, реакция в зависимости от применяемого реагента протекает по уравнениям:



При нейтрализации известковым молоком сточных вод, содержащих серную кислоту, в осадок выпадает гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), что вызывает отложение его на стенках трубопроводов.

Для нейтрализации щелочных сточных вод используют различные кислоты или кислые газы, например отходящие газы, содержащие CO_2 , SO_2 , NO_2 , N_2O_3 и др. Применение кислых газов позволяет не только нейтрализовать сточные воды, но и одновременно очищать от вредных компонентов сами газы.

Количество кислого газа, необходимого для нейтрализации, может быть определено по уравнению массоотдачи:

$$M = k\beta_{\text{ж}}S\Delta C, \quad (12.1)$$

где M - количество кислого газа, необходимого для нейтрализации; k - фактор ускорения хемосорбции; $\beta_{\text{ж}}$ - коэффициент массоотдачи в жидкой фазе; S - поверхность контакта фаз; ΔC - движущая сила процесса.

Нейтрализация щелочных вод дымовыми газами является ресурсосберегающей технологией, так как при этом ликвидируется сброс сточных вод, сокращается потребление свежей воды, экономится тепловая энергия на подогрев свежей воды, а также очищаются дымовые газы от кислых компонентов (CO_2 , SO_2 и др.) и от пыли.

Окисление загрязнителей сточных вод

Окислительный метод очистки применяют для обезвреживания производственных сточных вод, содержащих токсичные примеси (цианиды, комплексные цианиды меди и цинка) или соединения, которые нецелесообразно извлекать из сточных вод, а также очищать другими методами (сероводород, сульфиды).

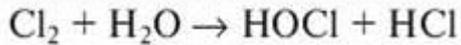
Для очистки сточных вод используют следующие окислители: газообразный и сжиженный хлор, диоксид хлора, хлорат кальция, гипохлориты кальция и натрия, перманганат калия, бихромат калия, пероксид водорода, кислород воздуха, пероксосерные кислоты, озон, пиролюзит и др.

В процессе окисления токсичные загрязнения, содержащиеся в сточных водах, в результате химических реакций переходят в менее токсичные, которые удаляют из воды.

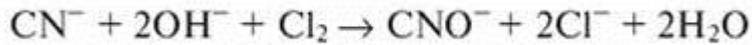
Активность вещества как окислителя определяется величиной окислительного потенциала. Первое место среди окислителей занимает фтор, который из-за высокой агрессивности не может быть использован на практике. Для других веществ величина окислительного потенциала равна: для озона - 2,07; для хлора - 0,94; для пероксида водорода - 0,68; для перманганата калия - 0,59.

Окисление активным хлором. Хлор и вещества, содержащие активный хлор, являются наиболее распространенными окислителями. Их используют для очистки сточных вод от сероводорода, гидросульфида, метилсернистых соединений, фенолов, цианидов и др.

При введении хлора в воду образуется хлорноватистая и соляная кислоты:



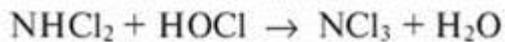
Окисление цианидов хлором можно проводить только в щелочной среде (pH >9...10)



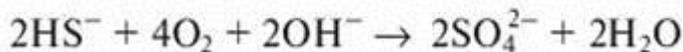
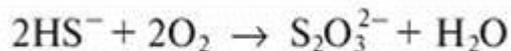
Образующиеся цианаты можно окислить до элементарного азота и диоксида углерода:



При наличии в сточной воде аммиака, аммонийных солей или органических веществ, содержащих аминогруппы, хлор, хлорноватистая кислота и гипохлориты вступают с ними в реакцию, образуя моно- и дихлорамины, а также треххлористый азот:

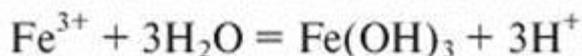


Окисление кислородом воздуха. Реакция окисления кислородом идет в жидкой фазе при повышенных температуре и давлении. При окислении сточных вод целлюлозных, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств протекают следующие реакции:

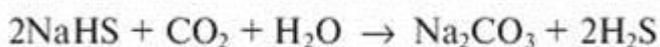
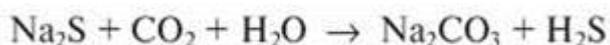


С повышением температуры и давления скорость реакции и глубина окисления сульфидов и гидросульфидов увеличиваются.

Кислород воздуха используют также при очистке воды от железа. В этом случае реакция окисления в водном растворе протекает по схеме



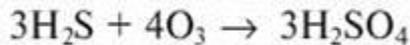
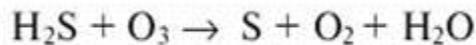
Осуществить процесс разрушения сульфидных соединений можно также диоксидом углерода, содержащимся в отходящих дымовых газах. Образование карбонатов происходит по следующим уравнениям:



Выделяющийся сероводород, выносимый дымовыми газами и паром, направляется на сжигание, а при использовании диоксида углерода он служит сырьем для получения серной кислоты.

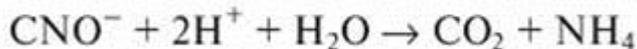
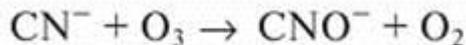
Озонирование. Озон - сильный окислитель, обладающий способностью разрушать в водных растворах при нормальной температуре многие органические вещества и примеси. Окисление озоном позволяет одновременно обеспечить обесцвечивание воды, устранение привкусов и запахов и обеззараживание. Озон окисляет как неорганические, так и органические вещества, растворенные в сточной воде. Озонированием можно очищать сточные воды от фенолов, нефтепродуктов, сероводорода, соединений мышьяка, ПАВ, цианидов, красителей, канцерогенных ароматических углеводородов, пестицидов и др. При обработке воды озоном происходит разложение органических веществ и обеззараживание воды; бактерии погибают в несколько тысяч раз быстрее, чем при обработке воды хлором.

При проведении реакции окисления сероводорода на первой стадии наблюдается выделение серы, а на второй - окисление непосредственно до H_2SO_4 :



Реакции протекают одновременно, но при избытке озона преобладает вторая.

При окислении цианидов протекают следующие реакции:



Действие озона в процессах окисления может происходить в трех различных направлениях: непосредственное окисление с участием одного атома кислорода; присоединение целой молекулы озона к окисляемому веществу с образованием озонидов; каталитическое усиление окисляющего воздействия кислорода, присутствующего в озонированном воздухе. Окисление веществ может быть прямое и не прямое, а также осуществляться катализом и озонлизом.

Кинетика прямых реакций окисления может быть выражена уравнением

$$-\ln \frac{C_t}{C_0} = k[\text{O}_3]t, \quad (12.2)$$

где C_0 , C_t - начальная и конечная концентрация вещества, мг/л; k - константа скорости реакции, л/(моль·с); $[\text{O}_3]$ - средняя концентрация озона во время прохождения реакции, мг/л; t - продолжительность озонирования, с.

Непрямое окисление - это окисление радикалами, образующимися в результате перехода озона из газовой фазы в жидкость и его саморазложения.

Озonoлиз представляет собой процесс фиксации озона на двойной или тройной углеродной связи с последующим ее разрывом и образованием озонидов, которые, как и озон, являются нестойкими соединениями и быстро разлагаются.

Озонирование представляет собой процесс абсорбции, сопровождаемый химической реакцией в жидкой фазе. Расход озона M , кг/с, необходимого для окисления загрязнений, может быть определен по уравнению массообмена:

$$M = \beta'_ж S \Delta C_ж, \quad (12.3)$$

где $\beta'_ж$ - коэффициент массоотдачи в жидкой фазе при протекании в ней химической реакции, м/с; S - поверхность контакта фаз, м²; $\Delta C_ж$ - движущая сила процесса, кг/м³.

Процесс очистки сточных вод значительно увеличивается при совместном использовании ультразвука и озона, ультрафиолетового облучения и озона. Ультрафиолетовое облучение ускоряет окисление в $10^2 \dots 10^4$ раз.

Электрохимическое окисление. Электрохимические методы очистки основаны на электролизе производственных сточных вод. Химические превращения при электролизе могут быть весьма различными в зависимости от вида электролита, а также материала электродов и присутствия различных веществ в растворе. Основу электролиза составляют два процесса: анодное окисление и катодное восстановление.

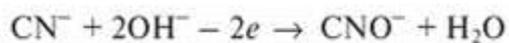
Электрохимическую обработку целесообразно применять при очистке концентрированных органических и неорганических загрязнений и небольших расходах сточных вод.

В качестве анода используют электролитически нерастворимые материалы (уголь, графит, магнетит, диоксиды свинца, магния, рутения), нанесенные на титановую основу, в качестве катода - свинец, цинк и легированную сталь. Большое значение при электрохимическом окислении имеет плотность тока.

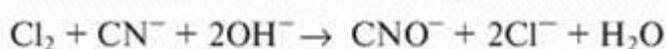
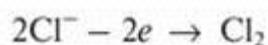
Чтобы предотвратить смешение продуктов электролиза, особенно газов (водорода и кислорода), которые могут образовать взрывоопасные смеси, применяют керамические, полиэтиленовые, асбестовые и стеклянные диафрагмы, разделяющие анодное и катодное пространство.

В процессе анодного окисления происходит деструкция органических веществ получением промежуточных или конечных продуктов окисления (органических кислот, CO_2 , H_2O).

При электролизе щелочных сточных вод, содержащих цианиды, на аноде происходит окисление цианид-ионов с образованием цианат-ионов и дальнейшим их электрохимическим окислением до конечных продуктов:



В целях повышения электропроводимости сточных вод, снижения расхода электроэнергии и интенсификации процесса окисления веточные воды добавляют минеральные соли. Наиболее эффективно добавление хлорида натрия, который разлагается с выделением на аноде атомов хлора, участвующих в процессе окисления:



Радиационное окисление. При действии излучений высоких энергий на водные среды, содержащие различные органические вещества, возникает большое число окислительных частиц, обуславливающих процессы окисления. Радиационно-химические превращения протекают не за счет радиолиза загрязняющих воду веществ, а за счет реакции этих веществ с продуктами радиолиза воды: OH^\cdot , HO_2^\cdot (в присутствии кислорода), H_2O_2 , H^+ и $e_{\text{гидр}}$ (гидратированный электрон), первые три из которых являются окислителями. В качестве источников излучения могут быть использованы радиоактивные кобальт и цезий, тепловыделяющие элементы, радиационные контуры, ускорители электронов.

3. Параметрические процессы: шум, вибрация, электромагнитное излучение, ионизирующее излучение

Загрязнением в узком смысле считается привнесение в какую-либо среду новых, не характерных для нее физических, химических и биологических агентов или превышение естественного уровня этих агентов в среде. Так как объектом загрязнения всегда является биогеоценоз (экосистема), наличие вредных веществ означает применение режимов воздействия экологических факторов, что приводит к нарушению в экологической нише (или звена в пищевой цепи). Это в свою очередь приводит к нарушению обмена веществ, снижению интенсивности ассимиляции продуцентов, а значит, и продуктивности биоценоза в целом.

Загрязнения можно классифицировать следующим образом:

1. *Ингредиентное (химическое) загрязнение*, представляющее собой совокупность веществ, чуждым естественным биогеоценозом;
2. *Параметрическое (физическое) загрязнение среды*, связано с изменением качественных параметров окружающей среды: шумовых, радиационных, световых, температурных, электромагнитных и т. п.;
3. *Биологическое загрязнение*, заключающееся в воздействии на состав и структуру популяций и отдельных ее представителей – биологических агентов.

ШУМ

Шумовое загрязнение отрицательно воздействует на организм человека, вызывая:

- повышенную утомляемость,
- снижение умственной активности,
- понижение производительности труда,
- развитие сердечно-сосудистых заболеваний
- нервных заболеваний.

По мнению ученых, шум сокращает продолжительность жизни человека в больших городах на 8 – 12 лет. В древнем Китае существовала даже звуковая казнь за богохульство. Физиолого-биохимическая адаптация человека к шуму не возможна.

Сильный шум является для человека физическим наркотиком. Поэтому часть людей и прежде всего молодежь, увлекаясь современной музыкой с большой интенсивностью ее звучания, подвергает свое здоровье опасности в

следствии воздействия на организм физического наркотика. Женщины менее устойчивы к сильному шуму, который быстрее приводит их к неврастению. А слабые бытовые шумы в доме, обусловленные плохой звукоизоляцией квартир, разрушительнее действуют на нервную систему мужчин.

В транспортном комплексе источниками шума являются процессы механического, аэродинамического, электромагнитного, гидродинамического происхождения, прежде всего шум от вибрации корпусных деталей, систем газообмена, охлаждения двигателей, агрегатов трансмиссии, а так же аэродинамический шум и шум шин транспортных средств, строительно-дорожных машин, технологического оборудования. Под *шумом* объекта транспорта понимается акустическое излучение, производимое им при работе. Транспортное средство как источник акустического излучения характеризуют значением излучаемой акустической мощности, ее спектром и диаграммой направленности излучения.

Звук – механические колебания частиц упругой среды, образующиеся под воздействием какой-либо возмущающей силы. Акустические колебания в диапазоне 16 – 20 000 Гц, воспринимаемые слуховым аппаратом человека, называются *звуковыми*, а пространство их распределения – *звуковым полем*. Колебания ниже 16 Гц – *инфразвуковые*, а выше 20 000 Гц – *ультразвуковые*.

Известно, что звуковое давление **P** в звуковой волне равно разности давлений среды в присутствии и отсутствии волны. Уровнем шума называют двадцатикратный логарифм отношения звукового давления к пороговому значению:

$$P = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2.$$

Если предположить, что источник шума (двигатель) находится в точке *O* (рис. 1) и излучает шум в окружающее пространство, то, выделив полусферу *S* радиуса *r* и единичную площадку *A* на ней, можно определить, что сила звука *I* – количество звуковой энергии, прошедшее через единичную площадку, перпендикулярную радиусу *r*, в единицу времени.

Сила звука пропорциональна квадрату звукового давления и ее выражают в Вт/м^2 . Поэтому уровень шума иногда определяют как десятичный логарифм отношения силы звука к пороговому значению:

$$I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2.$$

В результате уровень шума (дБ) определяется по формуле

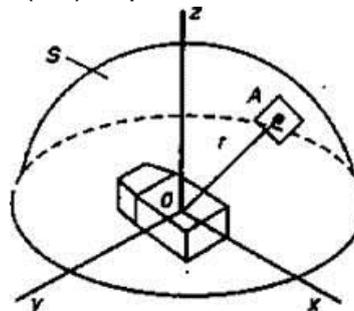


Рис. 1 - Прохождение звука через единичную площадку

$$L = 10 \cdot \lg(I/I_0) = 20 \cdot \lg(P/P_0) \quad (1)$$

Акустическая мощность W (Вт) объекта – общее количество энергии, излучаемой транспортным средством в окружающее пространство в виде звука и прошедшей через поверхность полусферы радиуса r в единицу времени; вычисляется по формуле

$$W = 10^{0.1L_w - 12} \quad (2)$$

Уровни акустической мощности называют величину

$$L_w = 10 \lg(W/W_0), \quad (3)$$

где $W_0 = 10^{-12}$ Вт.

Уровень мощности связан с уровнем шума выражением

$$L_w = L + 20 \lg r + 10 \lg \Omega - 10 \lg \Phi, \quad (4)$$

где Ω – телесный угол, в котором осуществляется излучение с учетом допущения о том, что акустическое излучение объекта происходит из центра O полусферы, $10 \lg \Omega \approx 8$, Φ – фактор направленности излучения, представляющий собой величину P_r^2/P_{cp}^2 , т.е. отношение квадрата звукового давления, в произвольной точке полусферы радиуса r к квадрату звукового давления, усредненному по всем точкам измерения на поверхности S .

Обычно шум измеряют в точке L с помощью шумомера, при использовании линейной частотой характеристики прибора по шкале A , учитывающей особенности восприятия человеком звуков различной частоты. Орган слуха человека различает не разность, а кратность изменения абсолютных значений звуковых давлений. Поэтому шум оценивают не абсолютной величиной – звуковым давлением, а его *уровнем*, то есть отношением создаваемого звукового давления к пороговому давлению (по формуле 1). В работающем двигателе транспортного средства причина возникновения акустического излучения является осуществление рабочего процесса, связанного с подводом теплоты Q_1 к рабочему телу в цилиндре. Для сравнения качества конструкций ДВС, заключающегося в способности преобразовать часть тепловой энергии Q_1 в энергию звукового излучения, служит *коэффициент акустического излучения* двигателя

$$n_{ak} = W/Q_1 \rightarrow \min. \quad (5)$$

Если у одного из двигателей этот коэффициент выше, то его конструкция акустически менее совершенна. Современные поршневые ДВС, используемые в автомобилях и дорожно-строительных машинах, при работе на номинальном режиме излучают 2-3 Вт акустической мощности. В точках пространства на расстоянии 1 м вокруг поверхности работающего двигателя возникают уровни шума 104–120 дБ.

Промышленно-транспортная экология

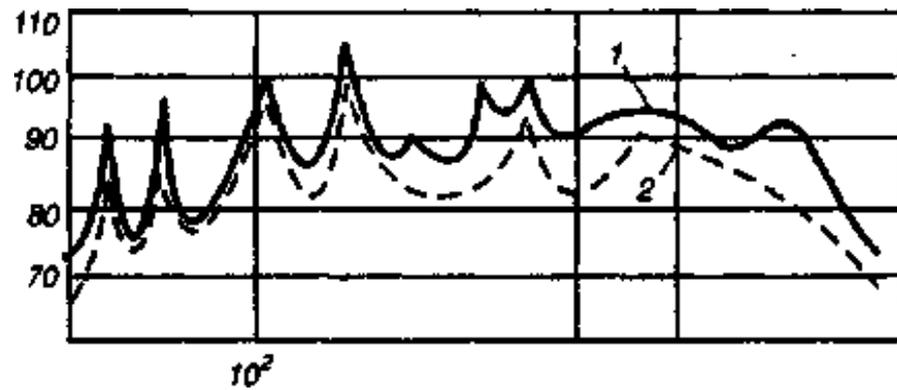


Рис.2 Шум дизеля в точке пространства около двигателя на расстояние 1 м от его боковой поверхности.

1—режим частичных нагрузок

2—режим холостого хода

Важной характеристикой шума является его *спектр*. Орган слуха человека неодинаково реагирует на звуки с одной амплитудой, но разной частоты. Спектр шума объекта показывает распределение энергии излучения по частотному диапазону. В них присутствуют дискретные составляющие, кратные частоте вращения, числу цилиндров двигателя, и сплошная область (рис.2). Октавные спектры звуковой мощности служат основной характеристикой шума машины.

Причинами возникновения звука являются: взаимодействие колеблющегося тела со средой; «быстрое» выделение энергии в конечном объеме среды; подведение (отток) конечного количества вещества в определенную область среды; обтекание потоком вещества твердого тела.

Акустическое излучение является следствием возмущений колебательной системы, распространение в ней колебаний и последующего процесса излучения энергии колебаний в окружающее пространство. Акустическое излучение объектов транспорта концентрируется преимущественно в диапазоне 20-8 000 Гц.

Рассмотрим это явление на примере поршневого ДВС. На такте впуска из области перед горловиной впускного патрубка (рис. 3) будет происходить отток вещества.

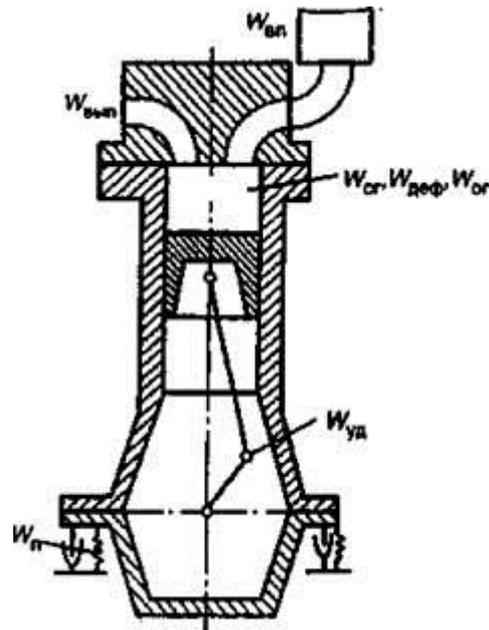


Рис. 3 Схема конструкции двигателя и возникновения акустического излучения

Движущийся по впускному тракту свежий заряд будет взаимодействовать со стенками, впускным клапаном и другими элементами конструкции. Возникает акустическое излучение, которое называют *шумом впуска*. Излучаемая при этом акустическая мощность обозначается $W_{вп}$. При сжатии, сгорании и расширении происходит деформация стенок камеры сгорания, что приводит к колебаниям наружных стенок двигателя. Энергия колебаний стенок в виде звука $W_{деф}$ излучается в окружающее пространство.

Помимо того, подвод теплоты к рабочему телу в цилиндре двигателя так же приводит к появлению акустического излучения при сгорании $W_{сг}$.

Опрокидывающий момент будет вызывать колебание двигателя на подвеске, энергия которых $W_{п}$ в виде звука, частично будет излучаться в окружающее пространство. В механизмах двигателя при работе могут возникать удары сопрягаемых деталей (клапан-седло), что приводит к шуму $W_{уд}$.

Работа агрегатов, размещаемых на двигателе (вентилятор, топливоподающий насос и др.), приводят так же к появлению шума $W_{аг}$. При выпуске происходит приток вещества в области, прилегающей к выпускному патрубку; здесь выделится так же какое-то количество энергии. Это приводит к возникновению шума выпуска $W_{вып}$.

Если суммировать перечисленные составляющие акустической мощности, то получим уравнение *акустического баланса двигателя «по рабочему циклу»* (Вт):

$$W_{д} = W_{вп} + W_{вып} + W_{деф} + W_{п} + W_{уд} + W_{аг}. \quad (6)$$

Акустическое излучение двигателя осуществляется горловинами впускного и выпускного тактов в примеси трактов и всей поверхностью. Причем элементы поверхности двигателя излучают разные количества акустической энергии.

Уравнение акустического баланса двигателя *«по поверхности»* (Вт) имеет вид:

$$W_{д} = W_{вп} + W_{вып} + \sum W_i, \quad (7)$$

где W_i - акустическое излучение, осуществляемое i -м элементом поверхности двигателя; n – число элементов, на которую разбита вся поверхность объекта. Удельная акустическая мощность, излучаемая поверхностью современного двигателя, составляет 90-115 дБ/м².

Акустическое излучение участков поверхности двигателя, горловин трактов впуска и выпуска иногда отождествляют с действием простейших излучателей нулевого и первого порядка. Отсюда третья разновидность акустического баланса двигателя «по излучателям» (Вт):

$$W_D = \sum W_0 + \sum W_i, \quad (8)$$

где W_0 – излучение нулевого порядка; k – число излучателей нулевого порядка; l – число излучателей первого порядка.

Составление акустического баланса двигателя или любого другого объекта транспорта по формулам (6-8) дает возможность определить наиболее существенные составляющие шума, указать причины возникновения, и изучить процесс формирования. найти наиболее рациональные пути его подавления.

ВИБРАЦИЯ

Вибрация – движение точки или механической системы под воздействием какой-либо внешней силы, при котором происходят колебания характеризующих ее скалярных величин (виброперемещение, виброскорость, виброускорение).

Колебания в механических системах передаются от дорожной поверхности как через элементы конструкции на находящихся в салоне водителя и пассажиров, а так же через грунт, воздействуя на биоту и инженерные сооружения.

Вибрация может измеряться с помощью абсолютных и относительных величин.

Абсолютные параметры – виброперемещение, виброскорость и виброускорение. Общие и локальные вибрации оцениваются средними квадратичными и скорректированными значениями (вертикальными, продольными, поперечными) виброскорости (м/с) и виброускорение (м/с²). Основной относительной величиной является уровень виброскорости L_V (дБ), который определяется по формуле:

$$L_V = 20 \lg v/v_0, \quad (9)$$

где v_0 – пороговое значение виброскорости, и v – среднеквадратичное значение виброскорости, м/с.

Первая производная по скорости – виброускорение формирует ограничения на конструкцию транспортного средства, так как при его движении генерируются частоты вынужденных колебаний до 20 Гц, при которых входят в резонанс с частотой собственных колебаний отдельные внутренние органы человека.

Основные источники вибрации – технологическое оборудование ударного действия (молоты, прессы, грохоты), энергетические установки (насосы, компрессоры, двигатели), транспортные средства. Вибрации распространяются по грунту и достигают фундаментов общественных и жилых зданий, часто вызывая и звуковые колебания, которые разрушают конструкции, которые разрушают конструкции и сооружения. Они затухают в грунте с темпом примерно 1дБ/м и на расстоянии 50- 60 м от транспортной магистрали уже не ощущаются. Ощутимое

воздействие вибрации при работе оборудования кузнечно-прессовых цехов распространяются на 150-200 м.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

Устройства, генерирующие, передающие и использующие электрическую энергию в транспортном комплексе, создают в окружающей среде **электромагнитные поля** (ЭМП). ЭМП распространяется в окружающей среде со скоростью, приближающейся к скорости света, и характеризуется напряженностью электрической и магнитной составляющих поля.

Измерителями электромагнитного излучения являются:

1. *Напряженность электрической составляющей (В/м)*. Служит для оценки интенсивности ЭМП в диапазоне частот 30 кГц – 300 МГц;

2. *Плотность потока энергии (Вт/м²)* – количество энергии, переносимой магнитной волной в единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярной направлению распространения волны. Служит для оценки интенсивности ЭМП в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц.

Для оценки биологического воздействия ЭМП различают *зону индукции* (ближнюю) и *зону излучения* (дальнюю). Ближняя расположена на расстоянии от источника, равном 1/6 от длины волны. Здесь магнитная составляющая напряженности поля выражена слабо, поэтому ее действие на организм не значительно. В дальнейшей зоне проявляется эффект обеих составляющих поля.

Основным источником низкочастотных электромагнитных колебаний являются воздушные линии электропередач, системы транспортных средств (электрооборудования, зажигание, управление, охранной сигнализации). ЭМП высокой частоты используются в металлургии для плавления металла в индукционных печах, в машиностроении для термообработки. Электротранспорт является источником значительных электромагнитных колебаний низкой и высокой частоты. Электромагнитную УВЧ – и СВЧ – энергию применяют в радиовещании, телевидении и других областях.

В последнее время уделяется большое внимание искусственным ЭМП. О биологическом влиянии ЭМП опубликовано много материалов. Наблюдаемые при этом эффекты до сих пор не ясны, поэтому тема остается актуальной уже третье десятилетие.

Многие компании из 14-ти стран мира постоянно проводят исследования на живых организмах, но до сих пор не могут прийти к единому мнению.

Основная частота в контактной сети 50 Гц и для этой частоты проведено большое количество опытов на животных. Данные варьируют от опыта к опыту и бывают как отрицательные (биологическое изменение крови у крыс) так и положительные (увеличение выживаемости при спонтанно развивающейся лейкемии у мышей). ЭМП вызывают у животных колебания шерсти на спине (около 1мм) и значительно большее колебания усов. Эти факты способны вызвать беспокойство, потерю ориентации, нервное напряжение и развитие ряда заболеваний.

Очень мало известно о действиях слабых ЭМП. Не существует научно обоснованных пределов воздействия ЭМП для распространенных в быту приборов и аппаратов: компьютеров, телевизоров и т.п. По полученным данным

можно предположить, что длительное воздействие слабых ЭМП заметно скажется лишь в 4-ом – 10-ом поколении. Однако известно, что у работающих за компьютерами до шести часов в сутки, заболевание органов зрения, поражение ЦНС и сердечно-сосудистой системы происходит в пять раз чаще, чем в контрольных группах. Не стоит так же слишком часто пользоваться радио- и электроприборами, так как из-за воздействия ЭМИ опасность заболеть раком крови возрастает на 20-40%.

ИОНИЗИРУЮЩИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Ионизирующее излучение – любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков (ионов, нуклидов).

Радиоактивность – самопроизвольное превращение неустойчивого нуклида в нуклид, сопровождающееся испусканием ионизирующих излучений.

Основными видами ионизирующих излучений являются:

α – частицы: ядра гелия, несущие два элементарных положительных заряда; испускаются при распаде некоторых элементов с большим массовым числом (радий, торий, уран и т. д.); длина пробега в воздухе 2,5 – 9 см, в биологических тканях – до 0,1 мкм. Представляют опасность при попадании радионуклидов внутрь организмов.

β – частицы: ядерные частицы, близкие по физической природе к электронам; возникают при радиоактивном распаде и сразу же излучаются. Максимальный пробег в воздухе – несколько метров, в тканях – несколько миллиметров. Опасны при попадании радионуклидов на кожные покровы и внутрь организма. Все радионуклиды, находящиеся в таблице Менделеева до свинца, обладают только β – распадом, а радионуклиды, которые тяжелее свинца имеют как α –, так и β – распад

γ – кванты: самые коротковолновые электромагнитные излучения (до 10^{-9} см), которые образуются в ходе ядерных реакций и при распаде осколков деления; близки к рентгеновским лучам, но у γ – квантов короче длина волны и они несут большой энергетический заряд. Пробег в атмосфере измеряется сотнями метров, свободно проникает через преграды.

Воздействие ионизирующего излучения приводит к повреждению клеток человеческого организма двумя способами. Один из них наносит генетические повреждения, которые изменяют гены и хромосомы. Другой способ вызывает соматические повреждения: ожоги, выкидыши, гладкие катаракты, раковые заболевания костей, щитовидной и молочной желез, легких.

Излучаемая радиоактивными веществами энергия поглощается окружающей средой, вызывая ионизацию атомов и молекул вещества, в результате чего молекулы и клетки тканей разрушаются. Биологический эффект ионизирующего излучения зависит от суммарной дозы, продолжительность воздействия, виды излучений, размеров излучаемой поверхности и индивидуальных особенностей организма.

Таблица 1 - Возможные последствия для человека различных доз облучения всего организма за короткий промежуток времени

Промышленно-транспортная экология

<i>Доза (миллирентген)</i>	<i>Последствия</i>
1	2
0-50	Нет достоверных симптомов
50-200	Уменьшение количества белых кровяных клеток, тошнота, рвота. Около 10% погибают в течение нескольких месяцев при уровне 200 миллирентген.
200-400	Потеря кровяных клеток, высокая температура, кровотечение, выпадение волос, тошнота, рвота, диарея, усталость, кожные нарывы. Около 20% погибают в течение нескольких месяцев.
400-500	Такие же симптомы, как и при уровне 200-400 миллирентген, но в более тяжелом проявлении, рост числа инфекционных заболеваний из-за недостатка белых кровяных клеток. Уровень смертности достигает 50% при уровне излучения 450 миллирентген.
500-1000	Тяжелое расстройство желудочно-кишечного тракта, острая сердечно-сосудистая недостаточность, поражение ЦНС. При дозе превышающей 700 миллирентген гибель в течение нескольких недель.
10 000	Смерть в течение нескольких часов.
100 000	Смерть в течение нескольких минут.

Природные и строительные материалы являются источником радиоактивного излучения: из грунта выделяются радиоактивные газы, в частности радон. Это излучение, фиксируемое в конкретном месте, называют фоновым ионизирующим излучением. Оно складывается из :

- природного естественного радиоактивного фона, вызванного присутствием в биосфере радионуклидов;
- технически повышенного естественного фона, вызванного деятельностью человека;
- искусственных источников излучения (радиоизотопные приборы, гамма – дефектоскопы и др.).

Источниками сверхфонового радиоактивного загрязнения являются:

Долгоживущие радиоактивные изотопы – продукты испытаний ядерного оружия;

Плановые и аварийные выбросы радиоактивных веществ в окружающую

Промышленно-транспортная экология

среду от предприятий атомной промышленности и транспортных средств с атомными энергоустановками;

Твердые и жидкие радиоактивные отходы

Средние мощности фонового γ – излучения на планете составляет 1290 Кл/(кг·ч). Но на отдельных территориях она может достигать до 59 340 Кл/(кг·ч). Значимым для здоровья людей уровень эквивалентной дозы составляет 0,25 Зв. Но много зависит от интенсивности излучения и времени экспозиции. Последствия однократного облучения: до 0,5 Зв – отсутствуют клинические симптомы; 0,5 – 1,0 Зв – незначительные недомогания; 1 – 2 Зв – легкая степень лучевой болезни; 2 – 4 Зв – тяжелая степень лучевой болезни; более 6,0 Зв – летальный исход.

На территориях, подверженных радиоактивному загрязнению, при движении автомобилей, происходит осаждение на транспортных средствах радиоактивной пыли. В результате, в замкнутых системах водообеспечения транспортных предприятий вода после многократного (более 40 раз) использования по данным Липецкого технического университета получает уровень радиоактивности, существенно превышающий установленные нормативы. Поэтому транспортные средства и объекты инфраструктуры, а так же природные строительные материалы могут быть источниками радиоактивного излучения.

ТЕПЛОВЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Тепловое загрязнение является результатом повышения температуры среды, возникающее при отводе воды от систем охлаждения в водные объекты, при выбросе потоков дымовых газов или воздуха. Тепловое загрязнение водоемов приводит к последовательной схеме видовой состава биоценоза водорослей. Известны факты, когда сброс теплых вод создавал тепловой барьер для рыб на путях к нерестилищам.

СВЕТОВЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Световое загрязнение создается при нарушении естественного режима освещенности в результате воздействия искусственных источников света приводит к аномалиям в жизни животных и растений.

Лекция №4

Токсичность отработавших газов ДВС

План:

1. Состав и структура выбросов двигателей внутреннего сгорания.
2. Пути снижения токсичности отработавших газов ДВС

Экологическая безопасность – это свойство автомобиля, позволяющее уменьшать вред, наносимый участникам движения и окружающей среде в процессе его нормальной эксплуатации. Мероприятиями по уменьшению вредного воздействия автомобилей на окружающую среду следует считать снижение токсичности отработавших газов и уровня шума.

Основными загрязняющими веществами при эксплуатации автотранспорта являются:

- выхлопные газы;
- нефтепродукты при их испарении;
- пыль;
- продукты истирания шин, тормозных колодок и дисков сцепления, асфальтовых и бетонных покрытий.

Ярким примером неблагоприятного влияния развития производства на окружающую среду может служить автомобилизация. Автомобили оказывают вредное воздействие на природу и человека, так как в отработанных продуктах содержатся опасные для здоровья и окружающей среды компоненты, при движении автомобилей возникает шум.

При дорожно-транспортных происшествиях наносится материальный ущерб (уничтожение и повреждение грузов, транспортных средств и сооружений) и возможны гибель и ранение людей. По данным Всемирной организации здравоохранения на автомобильных дорогах мира ежегодно гибнет (в том числе и от послеаварийных травм) свыше 900 тыс. человек, несколько миллионов становятся калеками, а свыше 10 млн. человек - получает травмы.

Автомобильные дороги и их инфраструктура отняли у человечества свыше 50 миллионов гектаров земли (такова суммарная территория таких стран, как ФРГ и Великобритания). Кроме того, дороги с интенсивным движением создают “разделяющий эффект”, затрудняя связи между объектами и участками живой природы, расположенными по разные стороны дороги. Дорожное строительство нарушает экологическое равновесие в природе вследствие изменения существующего ландшафта; усиления водной и ветровой эрозии; развития геодинамических процессов, например оползней и обвалов; загрязнения окружающей местности, поверхностных и грунтовых вод материалами и веществами, применяемыми при эксплуатации автомобилей и дороги; неблагоприятного воздействия на существующий растительный и животный мир.

Источником загрязнения и истощения окружающей среды стала как сама трасса, так и её инженерные сооружения, объекты обслуживания, особенно места

хранения нефтепродуктов, автозаправочные станции, станции технического обслуживания, мойки и т.п.

При широком использовании автомобилей все возрастающее количество людей посещает ранее недоступные для них природные комплексы, что приводит к загрязнению отходами территорий, прилегающих к автомобильным дорогам, и других мест.

В отдельных городах и их агломерациях под воздействием автомобильного транспорта и других источников загрязнения образовались предельные экологические состояния, что препятствует устойчивому их развитию и требует кардинальных решений по улучшению их коммуникационной инфраструктуры.

1. Состав и структура выбросов двигателей внутреннего сгорания

Автомобильные и тракторные двигатели внутреннего сгорания загрязняют атмосферу вредными веществами, выбрасываемыми с ОГ, картерными газами и топливными испарениями. При этом 95--99 % вредных выбросов современных автомобильных двигателей приходится на ОГ, представляющие собой аэрозоль сложного, зависящего от режима работы двигателя, состава. Атмосферный воздух, являющийся окислителем топлив, состоит в основном из азота (79 %) и кислорода (21 %). При идеальном сгорании стехиометрической смеси углеводородного топлива с воздухом в продуктах сгорания должны присутствовать лишь N_2 , CO_2 , H_2O . В реальных условиях ОГ содержат также продукты неполного сгорания (оксид углерода, углеводороды, альдегиды, твердые частицы углерода, перекисные соединения, водород и избыточный кислород), продукты термических реакций взаимодействия азота с кислородом (оксиды азота), неорганические соединения тех или иных веществ, присутствующих в топливе (сернистый ангидрид, соединения свинца и т. д.).

Всего в ОГ обнаружено около 280 компонентов, которые можно подразделить на несколько групп. Группа нетоксичных веществ -- азот, кислород, водород, водяной пар, углекислый газ. Группа токсичных веществ -- оксид углерода CO, оксиды азота NO_x , углеводороды C_nH_m (парафины, олефины, ароматики и др.), альдегиды Rx^*CHO , сажа. При сгорании сернистых топлив образуются неорганические газы -- сернистый ангидрид SO_2 и сероводород H_2S . В отдельную группу можно отнести канцерогенные полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), наиболее активный из которых бенз(а)пирен, являющийся индикатором присутствия канцерогенов в ОГ. В случае применения этилированных бензинов образуются токсичные соединения свинца. В табл. 1 представлены данные по составу ОГ основных типов двигателей -- бензинового с искровым зажиганием и с воспламенением от сжатия (дизеля).

Промышленно-транспортная экология

Состав ОГ	Содержание в объеме, %		Примечание
	Бензин	Дизель	
N ₂	74—77	76—78	Не токсично
O ₂	0,3—0,8	2,0—18,0	Не токсично
H ₂ O	3,0—5,5	0,5-4,0	Не токсично
CO ₂	5,0—12,0	1,0—10,0	Не токсично
CO	0,1—10,0	0,01—0,5	Токсично
NO _x	0,1—0,5	0,001—0,4	Токсично
C _x H _y	0,2—3,0	0,009—0,5	Токсично
RxCHO (альдегид)	0,0—0,2	0,01—0,09	Токсично
SO ₂	0,0—0,002	0,0—0,03	Токсично
Сажа, г/м ³	0,04	0,01—1,1	Токсично
Бенз(а)пирен	до 0,02	До 0,01	Канцерогенно

Таблица 1. Состав ОГ автомобильных двигателей

Необходимо отметить, что в настоящее время основным источником загрязнения воздуха являются бензиновые двигатели. Тем не менее снижение токсичности дизелей также является актуальной задачей, учитывая наметившуюся тенденцию дизелизации АТ. Состав ОГ этих двух типов двигателей существенно различается прежде всего по концентрации продуктов неполного сгорания (оксид углерода, углеводороды, сажа).

Основными токсичными компонентами ОГ бензиновых двигателей следует считать CO, C_nH_m, NO_x и соединения свинца, дизелей -- NO_x, сажу. В табл. 2 указано содержание вредных веществ в ОГ бензиновых двигателей на различных режимах работы, в табл. 3 представлены источники образования вредных веществ (ВВ).

Компоненты отработавших газов	Режим работы			
	Холостой ход	Постоянная скорость	Ускорение от 0 до 40 км/ч	Замедление от 40 до 0 км/ч
Оксид углерода	0,5—8,5	0,3—3,5	2,5—5,0	1,8—4,5
Углеводороды	0,03—0,12	0,02—0,6	0,12—0,17	0,23—0,44
Оксиды азота	0,005—0,01	0,10—0,20	0,12—0,19	0,003—0,005

Таблица 2. Содержание ВВ в ОГ (в %) на характерных режимах работы автомобилей

Тип двигателя	Компоненты	Отработанные газы, %	Картерные газы, %	Пары топлива (испарение), %
Карбюраторный	CO	95	5	0
Дизельный	CO	98	2	0
Карбюраторный	C _x H _y	55	5	40
Дизельный	C _x H _y	90	2	8
Карбюраторный	NO _x	98	2	0
Дизельный	NO _x	98	2	0

Таблица 3 Источники образования вредных токсичных веществ

Промышленно-транспортная экология

Пары топлива (СхНу) -- испарение топлива из топливных баков, элементов системы питания двигателей: стыков, шлангов и т. д. Состав -- углеводороды топлива различного состава (15-20 %).

Картерные газы -- смесь газов, проникающих через неплотности поршневых колец из камеры сгорания в картер, и паров масла, находящихся в картере, а затем попадающих в окружающую среду.

Отработанные газы (СО, СхНу, NOх, сажа и др.) -- смесь газообразных продуктов полного или неполного сгорания топлива, избыточного воздуха и различных микропримесей (газообразных, жидких и твердых частиц, поступающих из цилиндров двигателя в его выпускную систему).

Пример. При сжигании 1 кг дизельного топлива образуется 80--100 г токсичных компонентов (20 г СО; 20--40 г NOх, 4--10 г СН ; 10--30 г SO; 3--5 г сажи; 0,8--1,0 г альдегидов). При сжигании 1 кг бензина выделяется 300--310 г различных токсичных компонентов: (225 г СО; 55 г NOх; 20 г СхНу; 1,5-- 2,0 г SO; 1,0--1,5 г сажи; 0,8--1,0 г альдегидов).

Исследования показывают, что карбюраторный двигатель выбрасывает СО примерно в 7 раз, а альдегидов в 3 раза больше дизеля. Дизель выбрасывает значительно больше СхНу, SO2 (в 10-15 раз).

Необходимо также представить данные о вредных выбросах различных типов автомобильных двигателей (табл. 4).

Тип двигателя	Выброс токсичных элементов, г/кВт-ч		
	СО	С _x Н _y	NO _x
Карбюраторный двигатель	38,1	2,72	21,8
Дизельный двигатель	4,9	3,0	11,7
Дизельный двигатель (с предкамерой)	2,3	0,27	7,9

Таблица 4 Зависимость количества вредных выбросов в ОГ от типов двигателей

До сих пор считается, что карбюраторные двигатели более токсичны, чем дизельные, но еще неизвестно, какие двигатели более канцерогенны Беднарский В. В. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей. - Ростов н/Дону: Феникс, 2005, с.391-395..

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ТОКСИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Оксид углерода (СО) — прозрачный, не имеющий запаха газ, несколько легче воздуха, практически нерастворим в воде. Поступая в организм с вдыхаемым воздухом, СО снижает функцию кислородного питания, выполняемую кровью, так как поглощаемость СО кровью в 240 раз выше поглощаемости кислорода.

СО образуется на поверхности поршня и на стенке цилиндра, в котором активизация не происходит вследствие интенсивного теплоотвода в стенки, плохого распыления топлива и диссоциации СО2 на СО и О2 при высоких температурах.

У карбюраторных двигателей при работе на холостом ходу (х. х.) и малых нагрузках содержание СО достигает 5—8 % при работе на обогащенных смесях. Нормы на токсичность двигателей допускают 2 % содержания СО при работе на х. х.

Оксиды азота (NO_x) — самый токсичный газ из ОГ. В ОГ двигателей 90 — 99 % всего количества оксидов азота составляет NO. Однако уже в системе выпуска и далее в атмосфере происходит окисление NO → NO₂. NO₂ — газ красновато-бурого цвета, в малых концентрациях не имеет запаха, хорошо растворяется в воде с образованием кислот.

NO_x раздражающе действует на слизистые оболочки глаз, носа, остаются в легких в виде азотной и азотистых кислот, получаемых в результате их взаимодействия с влагой верхних дыхательных путей.

Оксиды азота способствуют разрушению озонового слоя. Считается, что токсичность NO_x больше в 10 раз, чем CO. Норма NO_x в воздухе — 0,1 мг/м³.

Выброс NO_x с ОГ зависит от температуры среды. Чем больше нагрузка двигателя, тем выше температура в камере сгорания, и, соответственно, увеличивается выброс NO_x.

Кроме того, температура в камере сгорания зависит от состава смеси. Слишком обедненная или обогащенная смесь при сгорании выделяет меньшее количество теплоты, процесс сгорания замедляется и сопровождается большими потерями теплоты в системе, т. е. в таких условиях выделяется меньшее количество NO_x, а выбросы растут, когда состав смеси близок к стехиометрическому (1 кг топлива к 15 кг воздуха).

Для дизельных двигателей состав NO_x зависит от угла опережения впрыска топлива и периода задержки воспламенения топлива.

С увеличением угла опережения впрыска топлива удлиняется период задержки воспламенения, улучшается однородность топливовоздушной смеси, большее количество топлива испаряется, и при сгорании резко (в 3 раза) увеличивается температура, т. е. увеличивается количество NO_x.

Уменьшая угол опережения впрыска топлива, можно существенно снизить выделение NO_x, но при этом значительно ухудшаются мощностные и экономические показатели.

Углеводороды (C_xH_y) — этан, метан, бензол, ацетилен и др. (около 200 различных типов).

В дизельных двигателях C_xH_y образуется в камере сгорания из-за гетерогенной смеси, т. е. пламя гаснет в очень богатой смеси, где не хватает воздуха за счет неправильной турбулентности, низкой температуры, плохого распыления.

Двигатель выбрасывает большое количество углеводородов, когда работает в режиме х. х., за счет плохой турбулентности и уменьшения скорости сгорания. C_xH_y действуют раздражающе на органы зрения, обоняния и очень вредны для окружающей среды. C_xH_y от паров бензина также токсичны (допускается 1,5 мг/м³ в день).

Углеводородные соединения. Наиболее активную роль в образовании смога играют олефины. Вступая в реакции с оксидами азота под воздействием солнечного облучения, они образуют озон и другие фотооксиданты — биологически активные вещества, вызывающие раздражение глаз, горла, носа у людей, нанося также ущерб флоре и фауне.

Дым — непрозрачный газ. Может быть белым, синим, черным. Цвет зависит от состояния ОГ. Белый и синий дым — это смесь капли топлива с микроскопическим количеством пара. Образуется из-за неполного сгорания и последующей конденсации. Белый дым образуется, когда двигатель находится в холодном состоянии, затем исчезает из-за нагрева. Наличие дыма показывает, что температура недостаточна для полного сгорания топлива. Дым также отрицательно влияет на организм человека, животных и растительность. Черный дым состоит из сажи.

Сажа — бесформенное тело без кристаллической решетки. В ОГ дизельных двигателей сажа состоит из неопределенных частиц с размерами 0,3—100 мкм.

Причина образования сажи заключается в том, что энергетические условия в цилиндре дизельного двигателя оказываются достаточными, чтобы молекула топлива разрушилась полностью. Более легкие атомы водорода диффундируют в богатый кислородом слой, вступают с ним в реакцию и как бы изолируют углеводородные атомы от контакта с кислородом.

Образование сажи зависит от температуры, давления в камере сгорания, типа топлива, состава топливо-воздушной смеси. Содержание сажи в ОГ уменьшается с увеличением угла опережения впрыска топлива. При уменьшении этого угла выделение сажи заметно возрастает. Количество сажи зависит от температуры в зоне сгорания.

Существуют другие факторы образования сажи — зоны обогащенной смеси и зоны контакта топлива с холодной стенкой, а также неправильная турбуленция смеси.

При вдыхании сажи ее частицы вызывают негативные изменения в системе дыхательных органов человека. Если относительно крупные частицы сажи размером 2—10 мкм легко выводятся из организма, то мелкие, размером 0,5—2 мкм, задерживаются в легких, дыхательных путях, вызывают аллергию. Как и любая аэрозоль, сажа загрязняет воздух, ухудшает видимость на дорогах, но, самое главное, на саже адсорбируются ароматические углеводороды, в том числе канцерогенный бенз(а)пирен, токсичные свойства которого хорошо известны.

Норма сажи в ОГ составляет 0,8 г/м³. Скорость сжигания сажи зависит от размера частиц (при размере частиц меньше 0,01 мкм сажа сжигается полностью).

Оксиды свинца (РbО) возникают в ОГ карбюраторных двигателей, когда используется этилированный бензин для повышения октанового числа и уменьшения детонации, т. е. быстрого, взрывного сгорания отдельных участков рабочей смеси в цилиндрах двигателя со скоростью распространения пламени до 3000 м/с, сопровождающегося значительным повышением давления газов. РbО выбрасываются с ОГ в виде аэрозолей в соединении с бромом, фосфором, хромом. Аэрозоли, попадая в организм при дыхании, через кожу и с пищей, вызывают отравление, приводящее к нарушениям функций органов пищеварения, нервно-мышечных систем, мозга. Свинец плохо выводится из организма и может накапливаться в нем до опасных концентраций.

Сернистый ангидрид (S02) — бесцветный, с острым запахом газ. Раздражающее действие на верхние дыхательные пути объясняется

поглощением SO_2 влажной поверхностью слизистых оболочек и образованием в них кислот. Этот газ вызывает раздражение глаз, кашель, нарушает белковый обмен и ферментативные процессы. SO_2 и H_2S также очень опасны для растительности.

SO_2 образуется во время работы двигателя из топлива, получаемого из сернистой нефти (особенно в дизелях).

Альдегиды (RCHO). В ОГ присутствуют в основном формальдегид и акролеин ($\text{C}_2\text{H}_3\text{CHO}$).

Формальдегид — бесцветный газ с резким и неприятным запахом, раздражает глаза и верхние дыхательные пути, поражает центральную нервную систему, печень, почки. Акролеин также обладает сильным раздражающим действием.

Альдегиды образуются при сжигании топлива при низких температурах, при обедненной смеси, из-за окисления тонкого слоя масла в стенке цилиндра.

Именно эти газы определяют запах ОГ.

Следует отметить, что загрязнение воздуха идет следующим образом (по усредненным показателям):

ОГ, выбрасываемые через выхлопную трубу (65 %);

картерные газы (20 %);

углеводороды в результате испарения топлива из бака, карбюратора и трубопроводов (15 %)³.

2. МЕРЫ ПО СНИЖЕНИЮ ТОКСИЧНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

2.1 ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

Основными эксплуатационными мероприятиями снижения токсичности ОГ являются следующие:

Для карбюраторных двигателей

Своевременное регулирование карбюраторов по оптимальному составу рабочей смеси.

Оптимизация характеристики ускорительного насоса при разгоне автомобиля.

Поддержание оптимальной регулировки зазоров между торцами стержней клапанов и носками коромысел газораспределительного механизма.

Контроль и регулировка оптимального угла опережения зажигания. Поддержание нормального зазора в контактах прерывателя.

Повышение минимальной частоты вращения коленчатого вала двигателя на 50—100 об/мин.

Периодическая промывка системы смазки специальным промывочным маслом.

Периодическая проверка герметичности цилиндро-поршне-вой группы.

Движение, по возможности, с постоянной скоростью.

Систематическая промывка топливных и воздушного фильтров систем питания двигателя.

Работа двигателя на средних скоростных режимах и нагрузках 60—80 % от максимальной мощности.

Добавка в бензин 3 % антиоксичного изопропилового спирта.

Для дизельных двигателей

Систематический контроль оптимального угла опережения начала подачи топлива. Он должен быть у двигателей ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238 16-19° до ВМТ.

Поддержание постоянной цикличности подачи топлива для каждого цилиндра. Допускается неравномерность подачи топлива +5 %.

Контроль и регулировка оптимальной максимальной подачи топлива, исключая дымный выхлоп.

Своевременный контроль технического состояния и регулировка оптимального давления начала впрыска топлива каждой форсункой. Для двигателей ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238 давление начала подъема иглы должно быть 150+5 кгс/см².

Разогрев двигателя и его систем перед началом движения автомобиля до температуры не ниже 30°С и полная нагрузка двигателя при температуре охлаждающей жидкости не ниже 55°С.

Работа двигателя на средних скоростных режимах и нагрузках 60—70 % от максимальной мощности.

Периодическая проверка герметичности цилиндрико-поршне-вой группы.

Движение, по возможности, с постоянной скоростью.

9. Своевременная промывка топливных и воздушных фильтров. Чтобы судить о своевременном выполнении вышеуказанных мероприятий на АТП, организуется контроль за токсичностью ОГ с применением современных газоанализаторов.

Углубленная проверка исправного технического состояния топливных систем двигателей обычно проводится 2 раза в год. При этом проверяют:

производительность топливных жиклеров;

износ деталей привода ускорительного насоса и его производительность;

— систему балансировки поплавковой камеры.

Хорошая взаимосвязь системы холостого хода карбюратора и главной дозирующей системы обеспечивают автомобилю хорошие ходовые качества.

При ТО-2 техническое состояние карбюратора и воздушного фильтра проверяют в первую очередь, т. е. контролируют: состояние системы холостого хода; положение винта минимального открытия дросселя; минимальные обороты холостого хода и содержание СО в ОГ. Затем проверяют техническое состояние аккумуляторных батарей и системы зажигания.

У дизельных двигателей в первую очередь определяется техническое состояние топливной системы. То есть проверяется исправность топливной аппаратуры (форсунок, топливных насосов). Обращается также внимание на техническое состояние воздухоочистителя, топливных фильтров и их герметичность.

Кроме того, автомобили с дизельными двигателями проверяются на дымность при техническом обслуживании и при проведении годовых технических осмотров.

2.2 ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ, МЕРОПРИЯТИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПО СНИЖЕНИЮ ТОКСИЧНОСТИ И ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

1. Новые схемы двигателя:

с турбокомпаундированием;
с утилизацией теплоты в цикле Ренкина—Стирлинга;
комбинированные;
газотурбинные;
аксиальные;
двухтактные;
электрические.

2. Совершенствование рабочего процесса:

оптимизация камеры сгорания;
оптимизация параметров топливоподачи;
улучшение наполнения цилиндров;
оптимизация структуры воздушного вихря;
оптимизация фаз газораспределения;
разработка малотоксичных рабочих процессов;
теплоизоляция камеры сгорания;

предварительная физико-химическая обработка топлива, воздушного заряда, рабочей смеси;

совершенствование систем турбонаддува:

совершенствование систем впуска и выпуска.

3. Совершенствование конструкции и технологии изготовления ДВС:

снижение механических потерь;
утилизация теплоты ОГ;
ужесточение допусков;
оптимизация степени сжатия:
совершенствование систем теплоподачи:
совершенствование узлов и деталей дизеля;
совершенствование систем охлаждения и смазывания;
создание электронных систем управления.

4. Разработка средств и методов снижения токсичности и дымности ДВС:

— воздействие на рабочий процесс:

- регуляция ОГ;
 - впрыскивание воды, присадки и эмульсии;
- устанавливаемых в системе выпуска:
каталитические или жидкостные катализаторы, фильтры, термореакторы;
прочие устройства;
комбинированные системы очистки ОГ;
химические поглотители.

5. Применение альтернативных топлив и масел:

жидкие топлива;
водород;
сжатый газ (природный, синтетический и др.);
сжиженный газ (природный, синтетический и др.);

антидымные присадки;
масла;
смеси топлив, масел и присадок;
метанол, этанол;
подсолнечное, рапсовое масла.

6. Технологическое обеспечение, эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт:

обкатка;
ремонт;
диагностика;
эксплуатация;
обслуживание;
хранение;
повышение качества моторных масел.

7. Комбинированные методы и средства:
гаражные навесные системы очистки ОГ;
стационарные системы очистки ОГ;
малотоксичные режимы обкатки;
оптимальная организация движения;
оптимизация транспортных потоков.

Наличие в транспортном потоке АТС с различными эксплуатационными свойствами приводит к возрастанию неравномерности движения и расхода топлива. С ростом загрузки магистралей, естественно, возрастают и выбросы ОГ. Создание однородных потоков возможно дифференцированием полос движения для легковых и грузовых АТС, выделением магистралей для пассажирского и грузового движения, выделением отдельных полос для маршрутного пассажирского транспорта, специализацией полос при подходе к пересечению по дальнейшему направлению движения.

Воздействие на скоростной режим транспортного потока также дает положительный эффект по снижению токсичных выбросов ДВС.

Снизить вредные выбросы АТС можно путем внедрения автоматизированных систем управления движением (АСУД). Внедрение АСУД способствует снижению числа задерживаемых ТС и времени их задержки у перекрестка, уменьшением неравномерности движения на перегонах магистралей.

Лекция №5

Нормирование токсичности выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ

1. Нормирование выбросов вредных веществ в атмосферу
2. Понятие о предельно-допустимой концентрации, предельно-допустимых выбросах или сбросах и их нормирование

1. Нормирование выбросов загрязняющих веществ в атмосферу производится для каждого действующего, реконструируемого, строящегося или проектируемого предприятия или другого объекта, имеющего стационарные источники загрязнения атмосферы [1, 3].

Примечание. Под стационарным источником понимается любой источник с организованным или неорганизованным выбросом, дислоцируемый или функционирующий постоянно (или временно) на территории объекта.

2. Целью нормирования выбросов загрязняющих веществ от объекта, от которого они поступают в атмосферу, является обеспечение соблюдения критериев качества атмосферного воздуха, регламентирующих предельно допустимое содержание в нем вредных (загрязняющих) веществ для здоровья населения и основных составляющих экологической системы, а также условия непревышения показателей предельно допустимых (критических) нагрузок на экологическую систему и других экологических нормативов. При нормировании выбросов учитываются технические нормативы выбросов (ТНВ) и фоновое загрязнение атмосферного воздуха.

3. Предельно допустимый выброс - норматив предельно допустимого выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, который устанавливается для стационарного источника загрязнения атмосферного воздуха с учетом технических нормативов выбросов и фонового загрязнения атмосферного воздуха при условии непревышения данным источником гигиенических и экологических нормативов качества атмосферного воздуха, предельно допустимых (критических) нагрузок на экологические системы, других экологических нормативов [1].

4. Временно согласованный выброс - временный лимит выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, который устанавливается для действующих стационарных источников выбросов с учетом качества атмосферного воздуха и социально-экономических условий развития соответствующей территории в целях поэтапного достижения установленного предельно допустимого выброса [1].

5. Как следует из п. 3 данного раздела нормирование выбросов загрязняющих веществ в атмосферу предусматривает учет не только гигиенических, но и экологических нормативов качества атмосферного воздуха.

Согласно [1] экологический норматив качества атмосферного воздуха - это критерий качества атмосферного воздуха, который отражает предельно допустимое максимальное содержание вредных (загрязняющих) веществ в

атмосферном воздухе и при котором отсутствует вредное воздействие на окружающую природную среду.

В настоящее время нормирование выбросов вредных веществ в атмосферу основано на необходимости соблюдения гигиенических критериев качества атмосферного воздуха населенных мест. Вместе с тем, как показывают результаты ряда исследований, разные уровни загрязнения атмосферного воздуха по разному влияют на различные составляющие экосистемы (растительность и лесные насаждения, сельскохозяйственные угодья разных видов, почва, вода, фауна и т.д.). При этом нередко для сохранения этих компонент экосистемы необходимы более жесткие критерии качества атмосферного воздуха, чем для атмосферного воздуха населенных мест.

Для некоторых вредных веществ известны попытки установления разовых экологических норм (ПДКр .э) их допустимого содержания в атмосферном воздухе. Впервые они весьма успешно использовались при проводившихся расчетных оценках нагрузок на древесную растительность музея-усадьбы Л.Н. Толстого «Ясная Поляна».

Таким образом при нормировании выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для каждого, j -го загрязняющего вещества поступающего в атмосферу от объекта, проверяется условие:

$$q_{\text{сум. } j} = q_{\text{пр. } j} + q_{\text{уф. } j} \leq 1, \quad (2.1)$$

где:

$$q_{\text{пр. } j} \equiv \frac{C_{\text{пр. } j}}{\text{ПДК}_j} \quad \text{или} \quad q_{\text{пр. } j} \equiv \frac{C_{\text{пр. } j}}{10 \cdot \text{ПДК}_{\text{э.э. } j}}, \quad (2.2)$$

$$\text{ПДК}_j = \min \{ \text{ПДК}_{\text{г. } j}, \text{ПДК}_{\text{э. } j} \}$$

$C_{\text{пр. } j}$ (мг/м³) - приземная концентрация j -го ЗВ, создаваемая выбросом рассматриваемого объекта, рассчитанная по утвержденной в установленном порядке методике расчета;

$\text{ПДК}_{\text{г. } j}$ (мг/м³) - предельно допустимая концентрация рассматриваемого (j -го) вещества в атмосферном воздухе населенных мест, утвержденная Минздравом России;

$\text{ПДК}_{\text{э. } j}$ (мг/м³) - предельно допустимая концентрация рассматриваемого (j -го) вредного вещества в атмосферном воздухе для определенного вида экологической системы (лесные насаждения, растительность, сельскохозяйственные угодья разных видов, почвы и т.д.);

$q_{\text{уф. } j}$ (в долях ПДК_j) - учитываемая фоновая концентрация этого вещества, создаваемая выбросами других объектов.

Для случаев, указанных в [42], количественный критерий, указанный в формуле (2.1), заменяется на 0,8.

Значения $C_{\text{пр. } j}$ должны быть отнесены к тому же временному интервалу осреднения, что и ПДК_j .

Необходимость учета экологических нормативов в рамках работ по нормированию следует определять в разрезе каждого предприятия, учитывая:

- местоположение предприятия по отношению к конкретному уровню и виду экосистемы;

- зону влияния выбросов в атмосферу предприятия.

Экологические нормативы качества атмосферного воздуха будут устанавливаться и пересматриваться МПР [3]. Пока утвержденные в установленном порядке экологические нормативы отсутствуют.

Поэтому в разделе 2.2.1 приведен ряд рекомендаций, касающихся только гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха.

6. Нормативы ПДВ (ВСВ) устанавливаются для каждого конкретного стационарного источника загрязнения атмосферы (ИЗА) и объекта в целом (а также его отдельных функциональных частей при условии их расположения на удалении друг от друга на расстоянии большем, чем размеры зоны влияния их выбросов).

Норматив ПДВ (ВСВ) объекта считается нарушенным если:

- фактическое значение валового выброса (т/год) для объекта в целом в рассматриваемый год больше, чем установленная величина ПДВ (ВСВ) в т/год;
- фактическое значение максимально-разового выброса (г/с) из любого ИЗА объекта или объекта в целом выше установленных величин ПДВ (ВСВ) в г/с;
- не выполняются ограничения, установленные как нормативные, на значение какого-либо из других нормируемых параметров выбросов любого ИЗА объекта или объекта в целом.

Примечание: Возможны ситуации, когда увеличение максимально разовых выбросов на одном или нескольких ИЗА компенсируется уменьшением таких выбросов на других ИЗА или изменением других параметров ИЗА. В этих случаях для принятия решения о соблюдении установленных нормативов ПДВ (ВСВ) в г/с, предприятие должно представить в территориальные комитеты по охране окружающей среды обоснование, основанное на результатах расчета загрязнения атмосферы, отражающих данную ситуацию.

7. При проведении работ по нормированию выбросов следует учитывать передовые достижения науки и техники в области рационального и комплексного использования природных ресурсов и охраны окружающей природной среды и оценивать уровень «экологичности» имеющегося технологического оборудования и установок. При этом необходимо предусматривать внедрение более современных технологий и технических средств по сокращению выбросов в атмосферу загрязняющих веществ на основе технических нормативов выбросов (технологических нормативов допустимого выброса) [1, 2, 3], характеризующих уровень экологичности применяемой технологии.

8. В случае, когда выбросы какого-либо вещества для объекта в целом классифицируются как ВСВ, то в разрезе отдельных источников нормативы ВСВ устанавливаются только для тех источников, на которых планируется проведение мероприятий, обеспечивающих достижение норматива ПДВ по данному веществу в целом для объекта; для остальных источников выброса этого вещества устанавливаются нормативы ПДВ.

9. При разработке разделов «Охрана воздушного бассейна» предпроектной и проектной документации следует также учитывать выбросы, давать оценку их воздействия на окружающую среду и предложения по нормативам ПДВ (ВСВ) от

источников, которые действуют только в период строительства нового или реконструкции существующего производства (объекта).

10. В соответствии с п. 5 «Положения о нормативах выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на него» [4] при определении нормативов выбросов применяются методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе, в том числе сводных расчетов, утверждаемые Федеральной службой России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидрометом) по согласованию с Госкомэкологии (в настоящее время с Министерством природных ресурсов РФ).

В настоящее время единственным общероссийским документом по расчету рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе является ОНД-86 [6]. Использование других методов расчета рассеивания и в т.ч., изложенного в разделе 4.3.5 «Рекомендаций по учету требований по охране окружающей среды при проектировании а/дорог и мостовых переходов» [51], не представляется возможным. Этот метод не утвержден Росгидрометом, функцией которого является их рассмотрение и утверждение. То же самое касается раздела 4 «Методики контроля загрязнения атмосферного воздуха в окрестностях аэропорта [52] и некоторых других документов.

Примечание: «Отраслевая методика расчета приземной концентрации загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах компрессорных станций магистральных газопроводов. Отраслевое дополнение 1 к ОНД-86» [69] распространяет область применимости ОНД-86 на источники выбросов в атмосферу газовой отрасли, для которых характерны большие опасные скорости ветра (порядка 20 м/с и более).

Что касается выбросов метана, сгораемого через свечи с начальными скоростями, близкими к звуковым, то несколько лет назад Газпромом начата работа с привлечением специалистов по атмосферной диффузии по подготовке специального документа для расчета загрязнения воздуха от такого рода источников. Был подготовлен проект соответствующего документа, однако, работы были приостановлены. Поэтому, до завершения разработки специального документа для рассматриваемого случая рекомендуем обращаться в ГТО им. А.И. Воейкова.

1 1. Если предприятие перешло в подчинение другому юридическому лицу, но профиль и объемы производства не изменились, то нет необходимости разрабатывать новый проект нормативов ПДВ до окончания срока действия имеющегося проекта. В этом случае осуществляется только переоформление Разрешения на выброс.

12. Если в новой методике расчета выделений (выбросов) имеются вещества, которые не учитывались в действовавшей ранее методике (например, бенз(а)пирен), то их учет целесообразно выполнить после окончания срока действия проекта нормативов ПДВ. В отдельных случаях комитеты по охране окружающей среды, исходя из экологической обстановки в городе (регионе), вправе рекомендовать провести корректировку действующего проекта нормативов ПДВ в целях включения в него новых вредных веществ.

13. В отдельных случаях в территориальных органах по охране окружающей среды при рассмотрении проекта нормативов ПДВ (ВСВ) предприятия (далее проекты) и особенно принятии решения об утверждении нормативов ПДВ (ВСВ) могут возникать следующие ситуации:

- в проекте для ряда веществ предложены нормативы ВСВ на существующее положение, а для достижения по этим веществам нормативов ПДВ предусмотрены мероприятия, не требующие снижения выбросов, в том числе:

- более эффективный учет рассеивающей способности атмосферы,
- оптимизация режимов работы источников,
- перемещение источников на промплощадке;

- в проекте для ряда веществ определены нормативы ПДВ со сроком достижения более 5 лет или вообще не предложены нормативы ПДВ.

Для первой ситуации рекомендуется проведение расчетов загрязнения атмосферы при фактических параметрах источников путем изменения выбросов на величину, необходимую для обеспечения соблюдения критериев качества воздуха с учетом фонового загрязнения. Эта величина ПДВ учитывается при определении платы за загрязнение окружающей природной среды, исходя из установленного норматива ВСВ на существующее положение.

Примечание: Формула 8.8 ОНД-86 позволяет рассчитать разовое значение ПДВ (г/с) только для одиночного источника при условии, что « $C_{ф}$ » меньше ПДК. При этом под « $C_{ф}$ » понимается фоновое загрязнение, создаваемое всеми другими источниками, в т.ч. и другими источниками данного предприятия.

Поэтому использование этой формулы на практике для большинства предприятий, имеющих много источников, не представляется реальным.

В случае, когда срок достижения нормативов ПДВ по отдельным веществам превышает 5 лет, природопользователь должен представить обоснование, учитывающее технические и экономические возможности предприятия. При наличии такого обоснования целесообразно предложения предприятия по этим веществам рассматривать как нормативы ПДВ.

Отсутствие в проекте предложений по ПДВ для каких-либо веществ нельзя считать правильным, так как это противоречит действующим законодательным и методическим документам. В случаях отсутствия технических решений для достижения норматива ПДВ рекомендуется определять норматив ПДВ способом, описанным выше.

Кроме того, из п. 4.7. «Инструкции по нормированию выбросов (сбросов) загрязняющих веществ в атмосферу и в водные объекты» [11] следует, что при определении размера платы за выбросы необходимо руководствоваться установленными нормативами ПДВ.

14. Разрешение на выброс (РВ) выдается при необходимости выполнения мероприятий по достижению нормативов ПДВ - на 1 год; при соблюдении нормативов ПДВ (если не намечается реконструкция, расширение производства, изменение его технологии) - на 2 - 3 года; для предприятий, имеющих выбросы загрязняющих веществ только 3-го и 4-го классов опасности, при отсутствии планов реконструкции, расширения производства, изменения его технологии (с

увеличением выбросов), допускается выдача разрешения на выброс на срок до 5 лет [68].

15. В действующей нормативно-методической документации по охране атмосферного воздуха не описана процедура продления разрешения на выброс. Поэтому решение по этому вопросу комитет по охране окружающей среды принимает самостоятельно.

Можно отметить один из наиболее распространенных случаев продления разрешения на выброс: срок действия проекта нормативов ПДВ закончился и, следовательно, истек срок действия РВ. Однако , предприятие не завершило разработку нового проекта ПДВ. В этом случае комитет вправе продлить РВ на срок завершения разработки нового проекта ПДВ при наличии договора на его разработку, оформленного в установленном порядке с организацией-разработчиком. Обычно срок продления не должен превышать 1 год.

В последнее время в практику воздухоохранной деятельности начинает входить продление РВ для предприятий, на которых в прошедший период не произошло никаких изменений в режиме работы, технологии производства и его объемах. В этом случае комитет может продлить разрешение на выброс на срок до 5 лет, если предприятие представляет соответствующее обоснование, комитет также может провести инспекторскую проверку этого предприятия и на основе ее результатов принять решение о продлении РВ и его сроке.

Последовательность инвентаризации выбросов в атмосферу

Инвентаризация проводится один раз в 5 лет согласно Инструкции по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. [Источники загрязнения атмосферы](#) определяются из схем производственного процесса у предприятия. Для действующих предприятий контрольные точки принимают по периметру санитарно-защитной зоны. Замеры параметров выбросов осуществляют работники лаборатории предприятия или лаборатории санитарно-эпидемиологических станций.

Основными параметрами, характеризующими выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, является вид производства, источник выделения вредных веществ, число источников выбросов, координаты расположения выброса, высота источника выброса, диаметр устья трубы, параметры газовой смеси на выходе из источника выброса (скорость, объем, температура), характеристика газоочистных устройств, виды и количество вредных веществ тощ.

Вредные вещества, попадающие в атмосферу от промышленных и транспортных предприятий, энергетических установок, транспортных средств, растворяются в воздухе и переносятся движущимися потоками воздуха на большие расстояния. Рассеивание загрязнений приводит к снижению концентрации вредных веществ в зонах их выброса и к одновременному увеличению площадей с загрязненным воздухом [13].

На характер распространения вредных веществ в атмосфере и на размер зон загрязнения влияют метеорологические условия (горизонтальный и вертикальный движение масс воздуха, его скорость, температура, влажность, дождь, снег, наличие облаков.

Кроме метеорологических факторов, на рассеивания загрязнений действует рельеф местности, наличие лесов, водоемов, гор и т.п. В загрязненность городов и населенных пунктов влияют их планирование и озеленение

Расчет загрязнения атмосферы выбросами промышленных предприятий выполняется "Методикой расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий"(ОНД-8 86) или"Сборником методик расчета выбросов в атмосферу загрязняющих веществальних речовин".

2. ПОНЯТИЕ О ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ (ПДК), ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ВЫБРОСАХ ИЛИ СБРОСАХ (ПДВ, ПДС) И ИХ НОРМИРОВАНИЕ

ПДК – это максимальная концентрация примесей в атмосфере, отнесенная к определенному временному отрезку, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не сказывается ни на нем, ни на окружающей среде с точки зрения вредного воздействия. ПДК определяется в мг/м³.

Различают среднесуточную величину ПДК и максимально-разовую. Последняя не должна превышать трехразовое значение среднесуточной величины ПДК на протяжении не более 20 минут.

Численные значения ПДК для каждого вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу зависит от токсичности данного вещества или класса опасности.

Вредные вещества сгруппированы по своей опасности на 4 класса. К первому классу относятся самые токсичные соединения такие, как, например, бензопирен, соединения свинца и ртути. К четвертому классу относятся наименее вредные соединения такие, как, например, угарный газ, пары бензина.

Максимальная концентрация того или иного вредного вещества в приземном слое атмосферы не должна превышать величины среднесуточного значения ПДК, а в течение 20 минут максимально разового значения ПДК.

В то же время при одновременном присутствии в атмосфере нескольких вредных веществ, обладающих однонаправленными действиями, т.е. влияющих на одни и те же органы организма человека, их суммарная концентрация должна определяться в виде суммы относительных концентраций, приведенных к соответствующим значениям ПДК.

Сумма относительных концентраций таких вредных веществ в воздушной среде не должна превышать единицы.

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ПДК_i} \leq 1$$

К вредным веществам однонаправленного действия, т.е. близким по характеру биологического воздействия, например, относятся:

Озон – SO₂ – формальдегид;

Сернистый газ – NO₂;

SO₂ – фтористый водород;

SO₂ – фенол – сероводород;

Сернистый ангидрид SO₃ – аммиак – окислы азота.

Полный перечень вредных веществ однонаправленного действия приведен в справочной литературе.

ПДВ или ПДС соответственно при определении предельно допустимых сбросов в воду устанавливаются для каждого действующего или проектируемого предприятия.

Расчет ПДВ производится в тоннах в год, и представляет количество вредного вещества, превышение выбросов которого в атмосферу не разрешается.

ПДВ задается по каждому вредному веществу, выбрасываемого от источника загрязнения в атмосферу. При определении ПДВ от расчетного источника необходимо учитывать содержание каждого вредного вещества в атмосфере, обусловленное выбросами от других источников. Суммарные выбросы от уже действующих источников образуют фоновую концентрацию каждого вредного вещества в атмосфере. Поэтому основным условием при определении ПДВ для расчетного, вводимого в строй или действующего источника, чтобы концентрация вредного вещества в приземном слое атмосферы с учетом фоновой концентрации не превышала ПДК по данному веществу. При выбросе соединений однонаправленного действия величины ПДВ для этих веществ должны определяться из условия, чтобы их сумма относительных концентраций в атмосфере около поверхности земли с учетом фоновой концентрации не превышала единицы:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i + C_{\text{ф}}}{\text{ПДК}_i} \leq 1$$

Для неорганизованных выбросов от совокупности мелких одиночных источников устанавливается суммарное ПДВ. Это характерно для вентиляционных выбросов в коммунально бытовом хозяйстве города, для мелких котельных и других установок, сжигающих органическое топливо. Суммарное ПДВ определяется из условия, чтобы фоновая концентрация вредных веществ не превышала ПДК. При этом выбросы в атмосферу города можно привести к одному показателю и по нему оценивать допустимые выбросы всех вредных веществ. Так, в частности, при оценке загрязнения атмосферы от транспортных двигателей, расчет и экспериментальная проверка проводится на содержание СО. Ориентируясь на концентрация окиси углерода в атмосфере можно вводить ограничения и по другим выбросам.

Если на данном предприятии или группе объектов, расположенных в одном районе, значения установленных ПДВ по объективным причинам не могут быть достигнуты в настоящее время, то по согласованию с органами Госкомприроды допускается планирование поэтапного снижения выбросов до требуемой величины с указанием продолжительности каждого этапа до того момента, пока не будут обеспечены требования норм ПДК. При этом вводятся на определенные временные отрезки временные предельно допустимые выбросы или сбросы ВПДВ или ВПДС. Они же могут носить название как лимитные нормы выброса в атмосферу или сброса в водоемы.

Оплата выбросов или сбросов сверх предусмотренных ПДВ или ПДС, но в пределах ВПДВ или ВПДС производится в пятикратном размере по сравнению с оплатой в пределах норм.

Если же предприятие производит выбросы или сбросы сверх установленных временными нормами величин, т.е. производит сверхлимитные выбросы, то за сверхлимитный выброс оплата повышается в 25 раз по сравнению с нормируемой оплатой.

Нормы ПДВ или ПДС должны пересматриваться в сторону ужесточения не реже, чем через 5 лет.

Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества C_{max} в мг/м³ при выбросе нагретой газо-воздушной смеси из одиночного источника при неблагоприятных метеорологических условиях определяется по формуле:

$$C_{max} = \frac{AMFmnp}{H^{2.5} \sqrt[3]{Q\Delta t}}$$

где А – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в воздухе (для центра Европейской территории России его значение принимается 140, для Севера и Северо-запада – 160, для районов между 50 и 520 широты – 180 и для более южных широт - 200);

М - масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу, г/с;

F- безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в воздухе (для газообразных вредных веществ принимается равным 1);

H - высота трубы, м;

Q - объем газо-воздушной смеси, выбрасываемой из трубы, м³/с;

Δt - разность температур газо-воздушной смеси и окружающего воздуха, оС;

p - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (в случае ровной местности принимается 1);

m, n - безразмерные коэффициенты, учитывающие скорость выброса газо-воздушной смеси из трубы, высоту выброса, объем газа и начальную разницу температур.

При выбросе из трубы холодной газо-воздушной смеси при неблагоприятных метеорологических условиях величина максимальной приземной концентрации вредного вещества определяется по формуле:

$$C_{max} = \frac{AMFpnD}{8QH^{4/3}}$$

где D – диаметр трубы в сечении выброса (для труб определенной формы – эквивалентный диаметр устья), м;

Безразмерный коэффициент m определяется по формуле:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}}$$

$$f = 1000 \frac{w_0^2 D}{H^2 \Delta t}$$

Скорость выброса газа из трубы определяется по формуле:

$$w_0 = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Безразмерный коэффициент n определяется по формуле:

$$n = 0.532v^2 - 2.13v + 3.13,$$

где $v = 0.65 \sqrt{\frac{Q\Delta t}{H}}$ - для случая выброса горячей газо-воздушной смеси,

$v = 1.3 \frac{w_1 D}{H}$ - для случая выброса холодного газа.

Предельно допустимый выброс ПДВ, г/с, вредного вещества в атмосферу с горячими газами, при котором концентрация его в приземном слое не превышает величину предельно допустимой концентрации, определяется по формуле:

$$ПДВ_i = \frac{(ПДК_i - C_{ф_i}) H^2 \sqrt{Q\Delta t}}{AF_{птг}}$$

При выбросе из трубы холодного газа предельно допустимый выброс в атмосферу определяется по формуле:

$$ПДВ_i = \frac{8(ПДК_i - C_{ф_i}) Q H^{4.3}}{AF_{хДр}}$$

Для оценки расстояния от источника выброса вредных веществ в атмосферу до места, где достигается максимальная приземная концентрация, можно использовать формулу:

$$X_{\text{тек}} = \frac{5 - F}{4} H \cdot 11.4v$$

Для ориентировочной оценки при неблагоприятных метеорологических условиях можно принимать

$$X_{\text{max}} = (5 - 6) \cdot H.$$