

БЕЛАРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Двигатели внутреннего сгорания»

СОСТАВ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Методическое пособие
к дисциплине «Токсичность ДВС»
для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания»

Электронное учебное издание

Минск 2011

Настоящее методическое пособие составлено на основании типовой программы дисциплины и включает в себя сведения о составе вредных веществ в отработавших газах при горении углеводородного топлива в цилиндрах ДВС и о влиянии отдельных параметров на их образование. Представлены сведения о воздействии отработавших газов на окружающую среду, в том числе и на здоровье человека.

Материал изложен в расширенном объеме раздела программы дисциплины, что окажет помощь студентам в освоении лекционного курса, а также в подготовке к выполнению лабораторных работ.

Составитель

Альферович Владимир Викентьевич, доцент кафедры
«Двигатели внутреннего сгорания» БНТУ,
кандидат технических наук.

Рецензенты:

Молибошко Леонид Александрович,
профессор кафедры «Автомобили» БНТУ, кандидат технических наук;

Янкевич Наталья Степановна,
главный специалист научно-организационной
и информационно-аналитической работе
аппарата президиума НАН Беларуси,
к.т.н., с.н.с.

Белорусский национальный технический университет
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.(017) 292-77-52 факс (017) 292-91-37
Регистрационный № БНТУ/АТФ 16 –

© БНТУ, 2011

© В.В.Альферович

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. СОСТАВ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ.....	5
2. ПРОДУКТЫ НЕПОЛНОГО СГОРАНИЯ.....	9
2.1. Оксид углерода.....	9
2.2. Углеводороды.....	11
2.3. Сажа.....	16
3. ОКСИДЫ АЗОТА.....	19
4. ПОПУТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ.....	24
5. СМОГ.....	26
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	30
Приложение А. Токсические концентрации и симптомы при отравлении людей оксидом углерода.....	32
Приложение Б. Концентрация СО в атмосфере и клинические проявления.....	36
Приложение В. Воздействие оксидов азота на организм человека.....	37
ЛИТЕРАТУРА.....	39

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время загрязнение атмосферы стало неизбежной составной частью современной жизни. Основным источником загрязнения можно считать процессы горения, в результате которых водород и углерод топлива соединяются с кислородом, находящимся в атмосфере. Примеси и присадки, содержащиеся в топливе, слишком высокая или низкая температуры горения, неполное сгорание топлива приводят к образованию токсичных компонентов. Транспортные тепловые двигатели дают значительное количество выбросов, создающих химическое и тепловое загрязнение окружающей среды, они являются также источником шума и вибрации. Известно, что около 60 % загрязнений воздушного бассейна большинства стран вызвано работой транспорта. Транспорт имеет непосредственное отношение ко всем аспектам проблемы защиты природы, поскольку эта отрасль напрямую воздействует на окружающую среду через многомиллионный парк автомобилей, локомотивов, судов, самолетов, стационарных энергетических установок, транспортных предприятий.

Экспериментально подтверждены необратимые изменения значений параметров окружающей среды, что все чаще приводит к экологическим кризисам и катастрофам на локальном уровне (фотохимический смог, кислотные осадки, другие виды загрязнений) и в глобальном масштабе (образование парникового эффекта, разрушение озонового слоя в стратосфере). Это, а также накопление данных, подтверждающих проявление распада генетических программ человека, другие проявления экологического кризиса, привело к тому, что в большинстве стран мира вопросы обеспечения экологического благополучия выходят за рамки принятия конкретных инженерно-технических программ и решений и все более приобретают социально - экономическое значение.

1. СОСТАВ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

Отработавшие газы (ОГ) двигателей внутреннего сгорания (ДВС) представляют собой многокомпонентную смесь газов, паров, капель жидкостей и дисперсных твердых частиц (более 1000 различных химических образований). При идеальном протекании процесса сгорания стехиометрической смеси углеводородного топлива с воздухом в ОГ должны присутствовать лишь N_2 , CO_2 , H_2O . В реальных условиях ОГ содержат так же оксид углерода, углеводороды, альдегиды, твердые частицы, перекисные соединения, избыточный кислород, оксиды азота и др. Следует обратить внимание, что при сгорании стехиометрической смеси суммарная масса вредных примесей составляет менее чем 0,3 % от общей массы выхлопа (для дизеля даже меньше 0,1 %), но именно она и определяет токсичность двигателя (рис.1.1 и 1.2, табл.1.1).

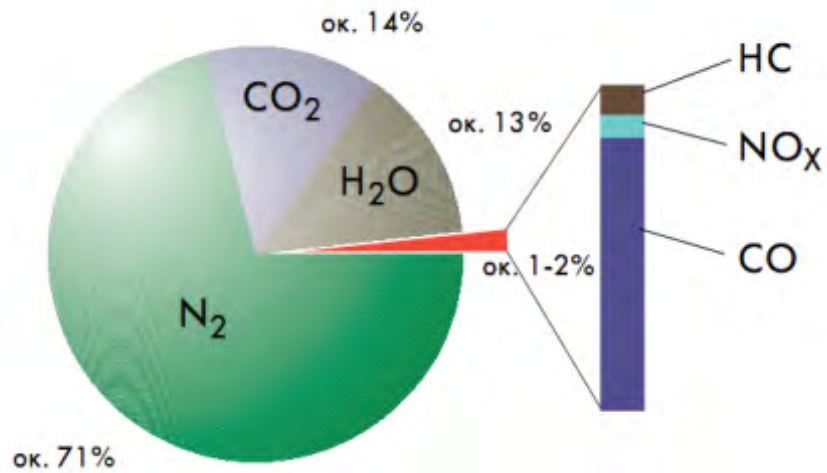


Рисунок 1.1-Состав отработавших газов бензиновых двигателей

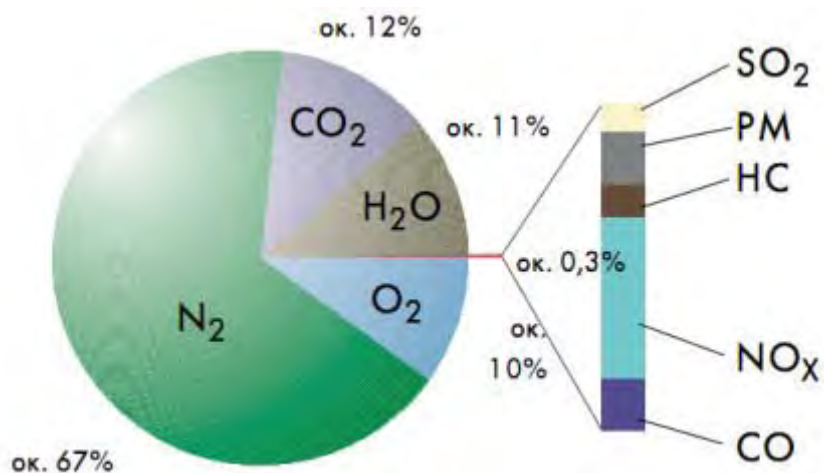


Рисунок 1.2-Состав отработавших газов дизельных двигателей

Таблица 1.1-Состав отработавших газов двигателей внутреннего сгорания

Компонент отработавших газов	Концентрация в отработавших газах		Токсичные компоненты отработавших газов дизелей на режиме полной нагрузки	
	Бензиновый двигатель	Дизель	Концентрация, г/м ³	Удельный выброс, г/(кВт ч)
Азот, N ₂	74...77%	74...78%	-	-
Кислород, O ₂	0,3...8%	2,0...18%	-	-
Водяной пар, H ₂ O	3,0...5,5%	0,5...9,0%	15...100	-
Диоксид углерода, CO ₂	5,0...12,0%	1,0...12,0%	40...240	-
Оксиды азота NOx, в том числе:	0,01...0,8%		1,0...8	10...30
-монооксид азота, NO	-	0,004...0,5%	1,0...4,5	6...18
-диоксид азота, NO ₂	-	0,00013...0,013%	0,1...0,8	0,5...2,0
Монооксид углерода, CO	0,5...12%	0,005...0,4%	0,25...2,5	1,5...12,0
Углеводороды, CxHy	0,2...3,0%	0,009...0,3%	0,25...2,0	1,5...8,0
Бенз(а)пирен, C ₂₀ H ₁₂	0...20мкг/м ³	0,05...1%	0,2·10 ⁻⁶ ... 0,5·10 ⁻⁶	1·10 ⁻⁶ ... 2·10 ⁻⁶
Сажа, С	0...0,04г/м ³	0,01...1,1г/ м ³	0,05...0,5	0,25...2,0
Диоксид серы, SO ₂	-	0,0018...0,02%	0,1...0,5	0,4...2,5
Триоксид серы, SO ₃	-	0,00004...0,0006%	-	-
Альдегиды RCHO, в том числе:				
-формальдегид, HCHO	-	0,0001...0,0019%	-	-
-акролеин, CH ₃ CHO	-	0,0001...0,00013%	0,001...0,04	0,06...0,2

В камере сгорания поршневых ДВС горит не только само топливо, но и часть смазочного масла, попадающего туда со стенок цилиндра («расход масла на угар» - в современных двигателях эта величина находится в пределах 0,15...0,30 % от расхода топлива). Неполное сгорание масла и наличие в нем оксидов металлов, входящих в различные присадки, дополнительно увеличивает токсичность ОГ двигателя.

Степень воздействия на атмосферу не исчерпывается лишь продуктами сгорания минеральных топлив. Сам процесс их производства при переработке нефти и газа также сопровождается значительными вредными выбросами. Для объективной оценки воздействия АТС на воздушный бассейн необходимо учитывать весь жизненный цикл минеральных моторных топлив, а не ограничиваться лишь стадией эксплуатации. Под жизненным циклом объекта транспорта понимается хронологически выраженная последовательность этапов создания (добычи и переработки сырья, производство конструкционных, эксплуатационных, дорожно-строительных материалов, транспортировки, хранения), производства (изготовление объекта), использования, восстановления работоспособности и утилизации (рис.1.3).



Рисунок 1.3 – Стадии жизненного цикла автомобиля

Таким образом, при оценке негативного воздействия АТС на состояние воздушного бассейна в целом, необходимо, как минимум, суммировать выбросы вредных веществ как на стадии получения моторных топлив, так и на стадии эксплуатации самого АТС. Причем обе эти стадии сопоставимы по масштабам выбросов. Примерный экологический баланс легкового автомобиля полной массой 1160 кг с окислительно-восстановительным ней-

трализатором отработавших газов, с расходом топлива 10 л/100 км, ресурсом 130000 км, сроком службы 10 лет приведён в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Экологический баланс легкового автомобиля, %

Параметр	Этапы жизненного цикла					Всего, г/кг массы
	Получение сырья, материалов	Транспорт сырья	Производство	Эксплуатация	Утилизация	
CO ₂	16,1	3,0	6,0	74,2	0,7	51,5 кг/кг
SO ₂	27,9	45,4	8,2	14,7	3,8	28,3
NO _x	12,7	24,6	4,7	52,3	5,7	77,2
Твердые частицы	38,1	38,1	9,5	4,8	9,5	3,62
CO	8,3	2,7	0,2	88,3	0,5	317,3
C _x H _y	33,5	6,7	0,6	57,8	1,4	54,2
Бензол C ₆ H ₆	-	-	-	100	-	0,7
Формальдегид СННО	-	-	-	100	-	0,175
Частицы дорожного покрытия	-	-	-	100	-	15,1
Частицы шин	-	-	-	100	-	0,65
Частицы тормозных накладок	-	-	-	100	-	0,13
Свинец	-	-	-	100	-	0,08
Хром	-	-	-	100	-	0,8 10 ⁻³
Медь	-	-	-	100	-	9,5 10 ⁻³
Никель	-	-	-	100	-	1,0 10 ⁻³
Цинк	-	-	-	100	-	21,6 10 ⁻³
Платина	-	-	-	100	-	1,12 10 ⁻⁶
Кадмий	-	-	-	100	-	0,3 10 ⁻³
Нефтепродукты	-	-	-	100	-	0,01 л/кг
Твердые отходы	94,3	-	5,66	-	0,04	22,8 кг/кг

По способу образования вредные вещества, содержащиеся в ОГ, можно разделить на три группы:

- продукты неполного сгорания, к основным из которых относятся оксид углерода, углеводороды, бенз(а)пирен, сажа;
- вещества, являющиеся продуктами побочных реакций, протекающих при высоких температурах, например, оксиды азота;

- вещества, образующиеся из компонентов топлива и смазочного масла, входящих в них в виде примесей и присадок.

2. ПРОДУКТЫ НЕПОЛНОГО СГОРАНИЯ

2.1. Оксид углерода

Оксид углерода (монооксид СО – угарный газ) не имеющий запаха ядовитый газ, прозрачный, немного легче воздуха, плохо растворим в воде. Является продуктом неполного сгорания топлива, на воздухе горит синим пламенем с образованием диоксида углерода (углекислого газа). Оксид углерода вызывает торможение функций активных центров образования гемоглобина, вследствие чего нарушаются окислительные процессы в организме, что может привести к смерти (объемная концентрация 0,3% может привести к смерти человека в течение 30 мин). Особое внимание следует обратить на явление хронического отравления небольшими дозами оксида углерода, которое может наступить при объемной концентрации СО, равной 0,01 %. Отравлению такого рода подвержены водители, работники службы организации движения и пешеходы в больших городах. Около 95 % оксида углерода, вдыхаемой пешеходами, попадает в воздух с отработавшими газами АТС. Хроническое отравление выражается в появлении головных болей, шума в ушах, затрудненного дыхания, общей депрессии и понижении работоспособности. Отравление СО может в ряде случаев послужить причиной ДТП, так как даже при небольшом уровне загрязнения у водителя заметно снижается внимание и замедляется реакция. Клинические проявления интоксикации зависят от дозы (концентрации) и продолжительности воздействия СО на человека (приложение А и Б).

Оксид углерода в ряде стран считается основным токсичным веществом. По отношению к СО определяется относительная токсичность других основных компонентов отработавших газов АТС.

Оксид углерода присутствует в атмосфере в очень малых количествах, а в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания его содержание может достигать весьма значительных величин (до 12% в бензиновых двигателях, работающих на режимах холостого хода). Дизельные двигатели отличаются сравнительно небольшой концентрацией этого токсичного компонента в отработавших газах, не превышающей 0,5%. Оксид углерода СО менее стабилен по сравнению с диоксидом СО₂.

Образование оксида углерода в ДВС может происходить при неудовлетворительном распыливании топлива, в ходе холоднопламенных реакций (в дизелях), при сгорании топливовоздушных смесей с недостатком кислорода, а также вследствие диссоциации диоксида углерода (СО₂) при высоких температурах. В процессе последующего сгорания и расширения при наличии избыточного кислорода происходит горение оксида углерода (доокисление до СО₂). Экспериментально установлено, что окисление СО в СО₂ происхо-

дит и в выпускном коллекторе. Концентрация CO уменьшается при сгорании бедных смесей и увеличивается при сгорании богатых (рис.2.1).

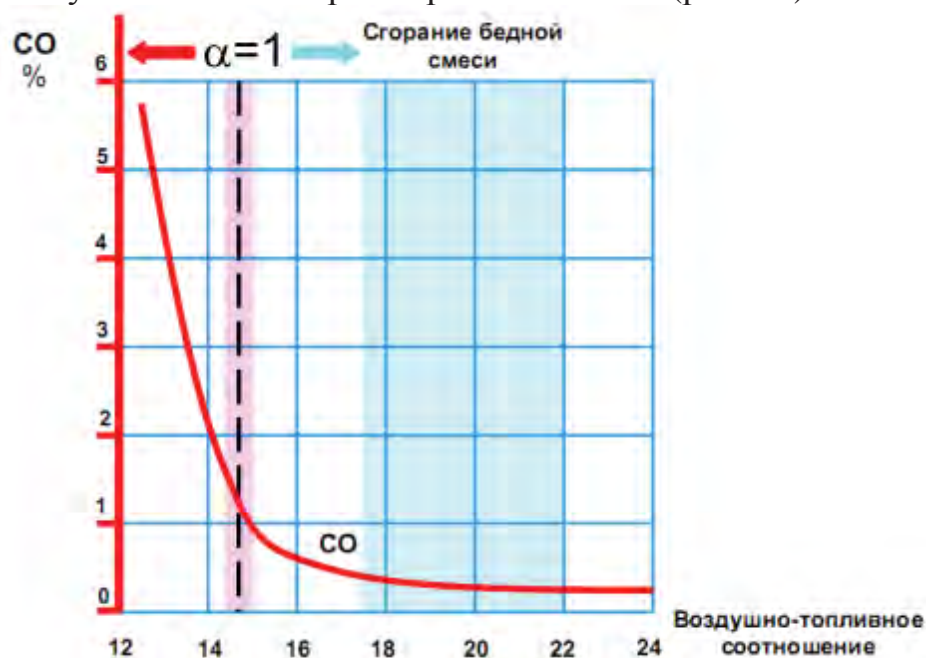


Рисунок 2.1-Зависимость концентрации оксида углерода в ОГ от состава смеси

Оксид углерода представляет собой основной промежуточный продукт сложного многостадийного процесса горения углеводородных топлив. Горение оксида углерода возможно при наличии кислорода в результате прохождения цепной реакции. Модель механизма цепной реакции может быть представлена следующими элементарными стадиями:



Максимальная концентрация CO в камере сгорания дизеля может достигать нескольких процентов по объему, но в ОГ их не более 0,1...0,2 %, что объясняется интенсивным догоранием CO на тактах расширения и выпуска при достаточном избытке воздуха. Поэтому, как правило, концентрацию CO определяют только для бензиновых двигателей.

Причины повышенной концентрации CO в ОГ и картерных газах могут быть следующие:

1. Повышенное топливное давление.
2. Нарушение гидроплотности форсунок.
3. Разрыв диафрагмы регулятора давления топлива.

4. Неисправности системы улавливания паров топлива.
5. Попадание большого количества картерных газов во впускной коллектор.
6. Засорение клапана или отверстий системы принудительной вентиляции картера.
7. Неправильная работа системы обратной связи приводящая к смещению регулирования в сторону обогащения смеси.
8. Ошибочный сигнал на входе блока управления двигателем:
 - неверное определение нагрузки;
 - неверное определение температуры охлаждающей жидкости;
 - неверное определение количества O_2 ;
 - неверное определение положения дроссельной заслонки.

Недостаток кислорода является основной причиной повышенных выбросов с ОГ бензиновых двигателей продуктов неполного сгорания, и в первую очередь оксида углерода. При работе бензинового двигателя даже на стехиометрической смеси концентрация оксида углерода в ОГ не равна нулю, а составляет порядка 1 %. Это объясняется неравномерным распределением состава смеси по цилиндрам и наличием обогащенной смеси в отдельных цилиндрах при стехиометрическом и даже обедненном ее составе в целом для двигателя. Содержание CO в ОГ бензинового двигателя, например, при неправильной регулировке системы питания, может достигать 10 %.

Сравнение концентраций CO от различных источников выглядит следующим образом:

- 0,1 ppm - естественный базовый уровень CO в атмосфере;
- 0,5...5 ppm - средний базовый уровень CO в жилых домах;
- 5...15 ppm - уровень CO в жилых домах вблизи от правильно отрегулированной газовой плиты;
- 100...200 ppm - выхлоп автомобилей в центре мегаполиса (Мехико, Мадрид, Милан и др.);
- 5000 ppm - камин дома, топящийся дровами;
- 7000 ppm - не разбавленные отработавшие газы автомобиля;
- 30000 ppm – не разбавленный дым сигареты.

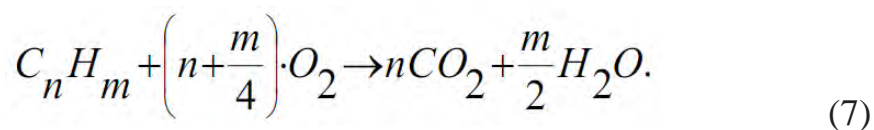
2.2. Углеводороды

Из всех продуктов сгорания углеводороды представлены наиболее широко и разнообразно: в ОГ насчитывают более 200 отдельных веществ, которые в основном отличаются между собой по количеству атомов углерода в молекуле. При этом состав углеводородов, присутствующих в ОГ, отличается от исходного состава углеводородов топлива и масла, поскольку под воздействием высокой температуры происходит их термический распад. В отдельных случаях возможно наличие в ОГ и исходных углеводородов:

- в ДВС с внешним смесеобразованием – вследствие продувки цилиндра при перекрытии клапанов, а также в случае пропусков воспламенения смеси;

- в двигателях с воспламенением от сжатия – вследствие продувки и при отсутствии самовоспламенения.

Процесс сгорания топлива в ДВС протекает очень быстро, при этом реакции сгорания углеводородов в камере сгорания двигателя являются весьма сложными и недостаточно изученными. Известно, что реакции сгорания углеводородов относятся к типу цепных реакций с разветвлениями, при которых большое значение имеют цепи, образуемые от основной цепи. Характер протекания реакций зависит от температуры и давления в камере сгорания, от способа образования рабочей смеси и способа ее воспламенения. Химическая реакция полного сгорания углеводородов может быть выражена стехиометрическим уравнением



Данное уравнение было бы верным только в случае, если бы молекула топлива подверглась одновременному столкновению с $(n+m/4)$ молекулами кислорода с соответствующей большой энергией. Вероятность такого столкновения настолько мала, что вообще не может приниматься во внимание. В соответствии с теорией цепной реакции, в период химической подготовки топлива к воспламенению некоторые молекулы углеводородов подвергаются распаду и при этом выделяются весьма активные и неустойчивые радикалы, которые, взаимодействуя с молекулами кислорода, образуют органические перекиси и альдегиды. В момент, когда концентрация этих продуктов реакции достигает критической величины, происходит их взрывной распад и начинается цепь реакций сгорания.

В момент перед возникновением пламени наблюдается резкий прирост C_2H_2 и H_2 . Одновременно накапливаются соединения CO , CO_2 , H_2O и углерод. После воспламенения образуется окись углерода, ненасыщенные углеводороды и углерод. Дальнейшие преобразования этих компонентов зависят от продолжительности реакции, газодинамических условий, а также от явлений, сопутствующих процессу газообмена в камере сгорания.

Углеводороды играют активную роль в образовании биологически активных веществ, вызывающих раздражение глаз, горла, носа и их заболевания, и наносящих ущерб растительному и животному миру. Оказывают наркотическое действие на центральную нервную систему, могут являться причиной хронических заболеваний, а некоторые ароматические СН обладают отравляющими свойствами. При определенных метеорологических условиях активно способствуют образованию смога. Резкое увеличение в последние десятилетия числа заболеваний раком легких, особенно в крупных городах, многие исследователи связывают именно с повышением содержания канцерогенов в атмосферном воздухе.

Это многочисленная углеводородная группа соединений, представляет следующие гомологические ряды: парафины, олефины, нафтенны, аро-

матические углеводороды (в том числе полициклические ароматические углеводороды - ПАУ). Наиболее значимыми из них являются легкие газообразные углеводороды и ПАУ. Легкие газообразные углеводороды C_xH_y образуются при термическом распаде топлива в переднем фронте факела, на топливной пленке на стенках цилиндра и в результате вторичного впрыскивания топлива (подвпрыскивания). Механизм образования углеводородов C_xH_y зависит от конструкции дизеля и параметров его работы. Одна из основных причин образования углеводородов C_xH_y - наличие «холодных» пристеночных слоев в цилиндре дизеля (рис.2.2). В процессе сгорания топлива пламя распространяется к стенке, от которой отводится теплота, и радикалы, образовавшиеся при горении, рекомбинируются на холодных стенках. В результате в пристеночных холодных слоях цилиндров толщиной 0,005...0,3 мм остаются углеводородные частицы из нагретого, не до конца сгоревшего топлива.

Другой причиной образования углеводородов C_xH_y является наличие в камере сгорания зон с низким коэффициентом избытка воздуха, в которых остаются несгоревшие углеводороды топлива. Несгоревшие углеводороды остаются в зазорах, которые малы для распространения пламени (между поршнем и стенкой цилиндра, над первым поршневым кольцом, вокруг клапанов), а также в локальных переобогащенных зонах объема камеры сгорания, где происходит пиролиз. Рост количества несгоревших углеводородов наблюдается и при работе двигателя на переобогащенных смесях вследствие гашения пламени или пропуска зажигания. Кроме того, СН образуются в зонах срыва пламени, ядре, хвосте струи, на топливной пленке, стенках и в результате более позднего вторичного впрыска топлива. Состав смеси оказывает ощутимое влияние на эмиссию СН (рис.2.3).

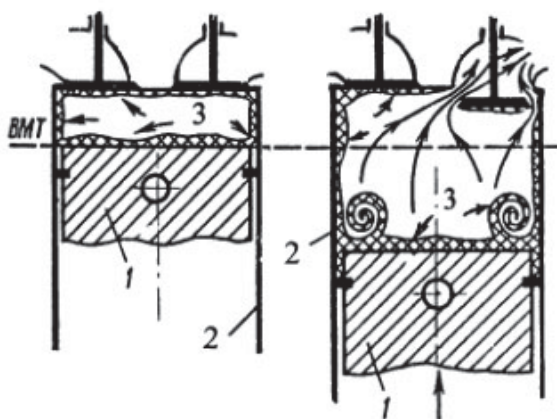


Рисунок 2.2-Зоны гашения пламени
1-поршень; 2-гильза цилиндра; 3-топливная пленка

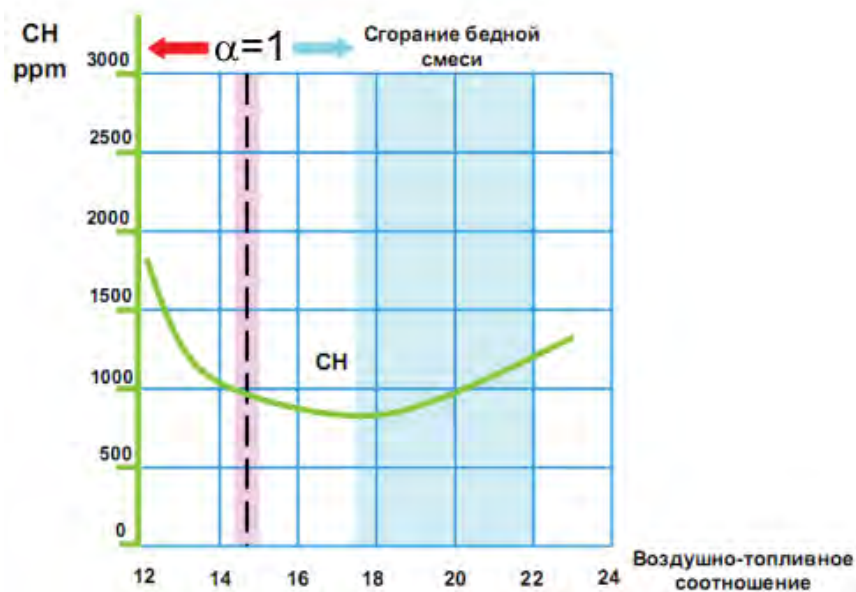


Рисунок 2.3-Зависимость концентрации углеводородов в ОГ от состава смеси

Среди низкомолекулярных углеводородов C_xH_y наибольшей токсичностью отличаются углеводороды олефинового ряда (этилен C_2H_4 , пропилен C_3H_6 , бутилен C_4H_8) и, в меньшей степени, парафины (метан CH_4 , этан C_2H_6 , пропан C_3H_8 , бутан C_4H_{10}), вызывающие неприятный запах и раздражающее действие отработавших газов, многочисленные хронические заболевания сосудистой и нервной систем, поражение внутренних органов. В дизелях этих несгоревших углеводородов 2-6 % от общего содержания углеводородных соединений в отработавших газах, а в бензиновых двигателях – 14-58 %. Другие легкие углеводороды присутствуют в отработавших газах дизелей в значительно меньших количествах. При значительном содержании легких несгоревших углеводородов выхлопные газы имеют белый цвет (белый дым). Остальные углеводороды, присутствующие в отработавших газах, - это, главным образом, высокомолекулярные полициклические ароматические углеводороды (ПАУ).

Основой ПАУ является структура, называемая бензольным ядром, в которую входят шесть атомов углерода, соединенных в кольцо, с тремя одинарными и тремя двойными связями. Некоторые ПАУ кроме бензольного ядра имеют одну или несколько боковых цепей. В отработавших газах дизелей содержатся в основном углеводороды, в молекулы которых входят две, три и четыре кольцевые структуры и 12...20 атомов углерода. Наиболее представительными из них являются неканцерогенные пирен, флуорантен и слаботоксичный хризен, а наиболее опасными, имеющими сравнительно высокую концентрацию в отработавших газах, фенантрен $C_{14}H_{10}$, бензо(b)флуорантен, бензо(j)флуорантен и, особенно, бенз(a)пирен $C_{20}H_{12}$. Доля бенз(a)пирена в суммарном выбросе ПАУ составляет до 3,7% у дизелей и 2,1...3,3% у бензиновых двигателей. В камере сгорания дизеля ПАУ адсорбируются в виде твердых иглообразных образований на поверхности сажи.

ПАУ относится к так называемым канцерогенным веществам, они не выводятся из организма человека, а со временем накапливаются в нем, способствуя образованию злокачественных опухолей. На переменных режимах бенз(а)пирен образуется при разгонах и замедлениях, при этом количество выбрасываемого бенз(а)пирена повышается примерно в 10 раз и еще в 10 раз – при запуске холодного двигателя. Износ цилиндропоршневой группы и повышенный расход масла в десятки раз увеличивают содержание бенз(а)пирена в ОГ дизеля. Одной из причин образования бенз(а)пирена является наличие в топливе бензола и других ароматических соединений. В настоящее время содержание ароматических компонентов в топливах нормируется.

Кислородосодержащие углеводороды - альдегиды RCHO - являются продуктами неполного сгорания и образуются на ранних стадиях окисления углеводородов топлива. Среди них преобладают низкомолекулярные альдегиды - формальдегид HCHO и акролеин CH_2CHO . Первый из них представляет гомологический ряд насыщенных альдегидов, второй - ненасыщенных. В отработавших газах дизельных двигателей на долю формальдегида приходится 71...91 % от общего содержания альдегидов, на долю акролеина – 9...22 %. Остальные 10...15 % составляет ряд других альдегидов (ацетальдегид, толуальдегид, бензальдегид, фурфурол). В целом в отработавших газах дизельных двигателей альдегидов содержится 30 мг/м^3 , а в бензиновых двигателях содержание альдегидов может достигать 240 мг/м^3 . Действие альдегидов на организм человека характеризуется раздражающим и общетоксическим эффектом на центральную нервную систему, поражением внутренних органов.

При работе бензинового двигателя на обогащенных смесях из-за недостатка кислорода в большом количестве выбрасываются углеводороды, а по мере обеднения смеси количество их уменьшается, достигая минимума при $\alpha = 1,1$, а затем вновь возрастает. Минимум выбросов CH (при $\alpha = 1,1$) соответствует наиболее устойчивой работе двигателя и, как правило, наилучшей экономичности. Особенно много углеводородов выбрасывается на режимах холостого хода. В многоцилиндровых бензиновых двигателях при работе на режиме минимальной частоты вращения холостого хода концентрация CH в отработавших газах может достигать 0,5...0,7 %.

Причины повышенной концентрации CH в ОГ бензиновых двигателей могут быть следующие:

1. Неисправности системы зажигания, приводящие к снижению вторичного напряжения:
 - распределитель зажигания (в системе зажигания с распределителем);
 - свечи зажигания;
 - высоковольтные провода;
 - катушки зажигания.
2. Переобеднение топливовоздушной смеси:
 - подсос воздуха во впускной коллектор.
3. Неисправности системы рециркуляции EGR отработавших газов:

- исполнительный клапан системы EGR перепускает слишком большое количество отработавших газов или полностью открыт;
- неисправность электромагнитного клапана системы EGR;
- засорение или повреждения воздушных шлангов системы EGR.

4. Засорение топливных форсунок.

5. Неправильная работа системы обратной связи приводящая к смещению регулирования в сторону обеднения смеси.

6. Ошибочный сигнал на входе блока управления двигателем:

- неверное определение нагрузки;
- неверное определение температуры охлаждающей жидкости;
- неверное определение количества O_2 ;
- неверное определение положения дроссельной заслонки.

7. Утечка отработавших газов через выпускные клапана:

- неправильно отрегулированный тепловой зазор выпускных клапанов (слишком маленький зазор);
- прогорание клапана или седла.

8. Нарушение работы системы зажигания:

- неверное значение базового угла опережения зажигания;
- неверный сигнал на входе блока управления двигателем.

9. Большое количество картерных газов:

- износ поршневых колец или цилиндров двигателя.

10. Низкая компрессия.

11. Отложения нагара на впускных клапанах.

2.3. Сажа

В отработавших газах дизеля присутствуют не только газообразные вещества, но и твердые образования, размеры которых соизмеримы с размерами частиц пыли (рис.2.4). Эти образования, получившие общее название "частицы" (Partikel), считаются вредными для здоровья людей и загрязняющими среду обитания.

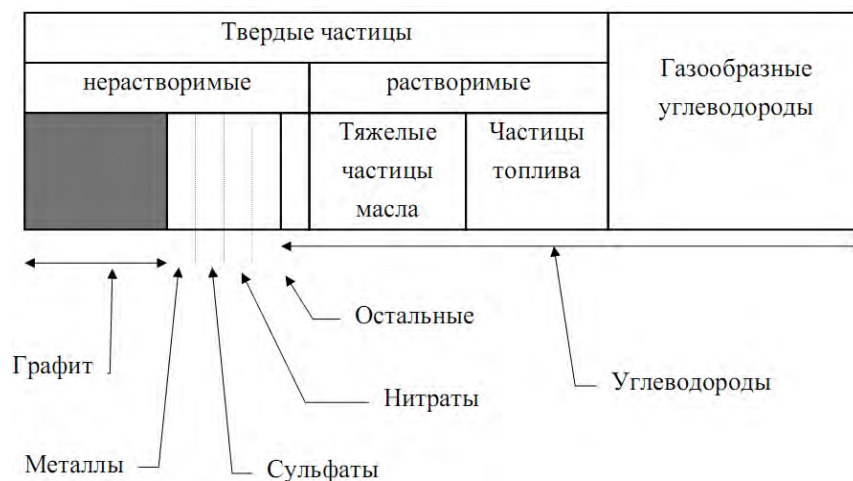


Рисунок 2.4 – Состав твердых частиц

Образование сажи при горении – специфическая особенность дизелей, и ее количество в ОГ зависит от условий смесеобразования и горения, которые определяются такими факторами как режим работы дизеля, химическими и физическими свойствами топлива, конструктивными особенностями камеры сгорания, параметрами топливной аппаратуры и т.д. Сажа является основой так называемых твердых частиц (ТЧ), в состав которых входят также адсорбированные на поверхности сажи тяжелые углеводороды, зольные частицы, некоторые продукты износа и т.д. (рис.2.5). Наличие сажи в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания приводит к потере их прозрачности (увеличению оптической плотности) и появлению облака дыма черного цвета. Оптическая плотность отработавших газов зависит от количества и размеров частиц сажи. Видимое дымление дизелей соответствует содержанию сажи в отработавших газах более $1,1 \text{ г/м}^3$. В отличие от дизелей в бензиновых двигателях дымность практически отсутствует.

Сажа представляет собой частицы твердого углерода неправильной формы (рис.2.6) с линейными размерами $0,3 \dots 100 \text{ мкм}$ (преимущественно от $0,2$ до $1,0 \text{ мкм}$). Первичные структуры сажи, образующиеся в камерах сгорания дизелей, являются частицами сферической формы диаметром $0,015 \dots 0,17 \text{ мкм}$ с удельной геометрической поверхностью $75 \text{ м}^2/\text{г}$, которые из-за коагуляции в процессе сгорания образуют вторичные и третичные структуры, выбрасываемые с ОГ из системы выпуска дизеля в атмосферу. Большая часть сажевых образований имеет размеры $0,4 \dots 5 \text{ мкм}$.

Удельная поверхность сажи значительна и может достигать $300 \text{ м}^2/\text{г}$, а ее плотность довольно низка – $0,05 \text{ г/см}^3$. Измерения размеров этих частиц показали, что их распределение по величине практически не зависит от способа смесеобразования, т.е. оно очень близко у двигателей с вихревой камерой сгорания и у двигателей с непосредственным впрыском посредством системы Common Rail или насос-форсунок.

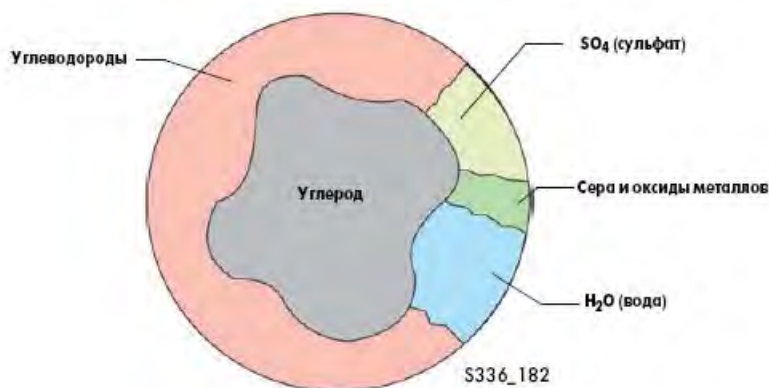


Рисунок 2.5- Условное изображение твердой частицы

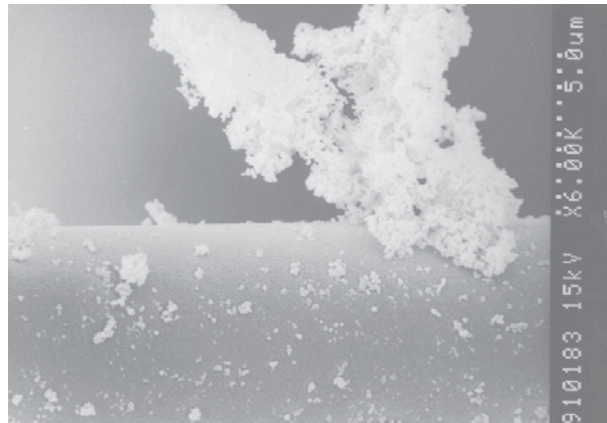


Рисунок 2.6- Сажа дизельного двигателя

Сажа вызывает негативные изменения в системе дыхательных органов человека. Мелкие частицы сажи размером 0,5...2 мкм задерживаются в легких, дыхательных путях, вызывают аллергию. Сажа загрязняет воздух, ухудшает видимость, но самое опасное в том, что на саже адсорбируются тяжелые ароматические углеводороды, в том числе канцерогенный бенз(а)пирен.

Образование сажи – объемный процесс термического разложения углеводородов при сильном недостатке или отсутствии кислорода (пиролизе). Происходит при значениях коэффициента избытка воздуха $\alpha = 0,33...0,7$ и описывается уравнением



С ростом температуры и давления в зоне пиролиза количество образовавшейся сажи резко увеличивается. При этом с увеличением температуры начало образования сажи сдвигается в сторону более богатых смесей, а с увеличением давления – в сторону более бедных. Установлено, что образование сажи зависит от свойств топлива. Чем выше молекулярный вес топлива, тем выше скорость образования сажевых частиц. Выявлено также, что концентрация сажи тем больше, чем выше отношение С/Н в топливе.

Наиболее общая схема образования сажи включает гидрогенизацию, дегидрогенизацию, крекинг, полимеризацию, конденсацию. Выделение сажи в процессе сгорания может быть разделено на три основные фазы:

- образование зародышей, их рост до первичных частиц (кристаллитов - шестиугольных пластинок графита);
- коагуляция (слипание) до развитых конгломератов;
- выгорание сложных образований.

На первых двух этапах физико-химических превращений, приводящих к появлению первичных частиц, происходят процессы пиролиза (крекинга), гидрогенизации и дегидрогенизации (присоединения или отнятия водорода от промежуточных продуктов); полимеризации (соединение мономеров в по-

лимер); конденсации (присоединение двух и более молекул к первичной с образованием частиц третьего типа).

Наряду с образованием сажи происходит и ее выгорание при столкновении частичек сажи с кислородом или радикалами ОН. Скорость выгорания сажи значительно меньше скорости выгорания газообразных продуктов неполного сгорания и существенно зависит от размеров частиц

Наличие в двигателях с внешним смесеобразованием и искровым зажиганием (бензиновых и газовых) практически гомогенной рабочей смеси вероятность появления обогащенных зон ($\alpha = 0,33...0,7$) незначительна. Нет условий для роста и коагуляции первичных частиц, так как высокая температура рабочего тела после прохождения горячего пламени способствует интенсивному выгоранию образовавшейся сажи. Для дизелей характерно образование локальных переобогащенных топливом зон, где в полной мере и реализуются перечисленные выше процессы сажеобразования. Поэтому значения выбросов сажи с ОГ дизелей являются на порядок большими, чем у двигателей с искровым зажиганием. Твердые частицы в ОГ дизеля с наддувом состоят на 68...75% из нерастворимых частиц и на 25...32% - из растворимых.

Сажа не единственное твердое вещество, содержащееся в отработавших газах. Другие твердые вещества – сульфаты - образуются при сгорании серы и ее соединений, содержащихся в топливе. Выброс сульфатов в атмосферу с отработавшими газами дизельных двигателей составляет 5...11 мг на километр пробега транспортного средства, а с отработавшими газами бензиновых двигателей – 1...13 мг. Кроме того, в выхлопных газах присутствуют твердые вещества, образующиеся в результате сгорания моторного масла, попадающего в камеру сгорания, а также металлы (железо Fe, никель Ni, медь Cu, цинк Zn и др.) и их оксиды, являющиеся продуктами износа деталей двигателя и компонентами присадок к топливу и моторному маслу. При большом угаре масла выхлопные газы могут иметь голубоватый оттенок (голубой дым).

Образование диоксида серы SO_2 в камере сгорания дизеля обусловлено содержанием в топливе серы и ее соединений (элементарной серы S, сероводорода H_2S , меркаптанов RSH и др.). При высокой температуре и избытке кислорода они сгорают с образованием оксидов серы SO_2 и SO_3 . Кроме оксидов при сгорании серы образуются сульфаты – серосодержащие соли, являющиеся одним из основных компонентов твердых частиц. Оксиды серы, реагируя с парами воды воздуха, образуют кислоты - сернистую H_2SO_3 и серную H_2SO_4 . Образование этих кислот ускоряется оксидами азота и углеводородами, содержащимися в отработавших газах. Эти кислоты способствуют возникновению смога и «кислотных дождей», закислению почв, увеличению кислотности водоемов.

3. ОКСИДЫ АЗОТА

Наибольший экологический ущерб от выбросов вредных веществ, образующихся в камере сгорания дизеля, приходится на оксиды азота (NO_x), которые представлены следующим рядом: NO , NO_2 , N_2O , N_2O_3 , N_2O_4 , N_2O_5 . При этом установлено, что из всех оксидов азота, содержащихся в отработавших газах, на долю NO в двигателях с принудительным зажиганием приходится 98,0...99,5 %, а у дизелей – до 95...98 %. Причем сорт сжигаемого топлива не оказывает существенного влияния на образование оксидов азота в камере сгорания. Из оксидов азота NO_x , содержащихся в отработавших газах дизелей, 80...90% приходится на монооксид азота NO и 10...20% - на диоксид азота NO_2 . Содержание других газообразных оксидов азота в отработавших газах ничтожно мало. Монооксид азота является нестабильным компонентом. В атмосфере при нормальных условиях монооксид азота NO окисляется до диоксида NO_2 в течение от 0,5 до 100 часов, в зависимости от его концентрации в воздухе. При понижении температуры ОГ в атмосфере, NO окисляется до NO_2 . В диапазоне температур 135...21 °С NO_2 находится в смеси с N_2O_4 , а при температуре ниже 21 °С полностью переходит в N_2O_4 .

Эмиссия даже небольшого количества NO_2 представляет серьезную проблему из-за высокой токсичности этого компонента ОГ и его активного участия в фотохимических реакциях в атмосфере. Оксиды азота действуют раздражающе на слизистые оболочки глаз, носа, остаются в легких в виде азотной и азотистой кислот. Опасность воздействия заключается в том, что отравление организма проявляется не сразу, а постепенно, причем каких-либо нейтрализующих средств нет.

Закись азота (N_2O – гемииоксид, веселящий газ) – газ с приятным запахом, хорошо растворим в воде, обладает наркотическим действием. Диоксид азота NO_2 – бурый газ с удушливым запахом, реагирует с водой с образованием азотистой HNO_2 и азотной HNO_3 кислот, которые разрушают легочную ткань, вызывая хронические заболевания, необратимые изменения в сердечно-сосудистой системе. Диоксид азота используется в качестве окислителя в ракетном топливе. Опасной является концентрация, составляющая более 1...2 ppm. Считается, что для организма человека оксиды азота примерно в 10 раз опаснее CO , а при учете вторичных превращений – в 40 раз. Оксиды азота в соединении с углеводородами образуют токсичные нитроолефины. Установлено, что их непосредственное токсичное влияние на растения проявляется при концентрации NO_x в воздухе в пределах 0,5 – 6,0 мг/м³. Воздействие оксидов азота на организм человека представлено в приложении В.

Выделяют следующие механизмы образования оксидов азота:

- «термический»;
- «быстрый»;
- «топливный».

Образование оксида азота NO по «термическому» механизму происходит в зоне продуктов сгорания при высокой температуре (свыше 2000 °С)

в результате окисления атмосферного азота свободным кислородом. При этом если образование продуктов неполного сгорания топлива определяется в основном несовершенством организации процесса сгорания, то образование NO_x – совершенством упомянутого процесса с точки зрения эффективности использования энергии топлива. Чем выше максимальная температура цикла, тем выше его коэффициент полезного действия и тем больше образуется оксидов азота (рис.3.1).

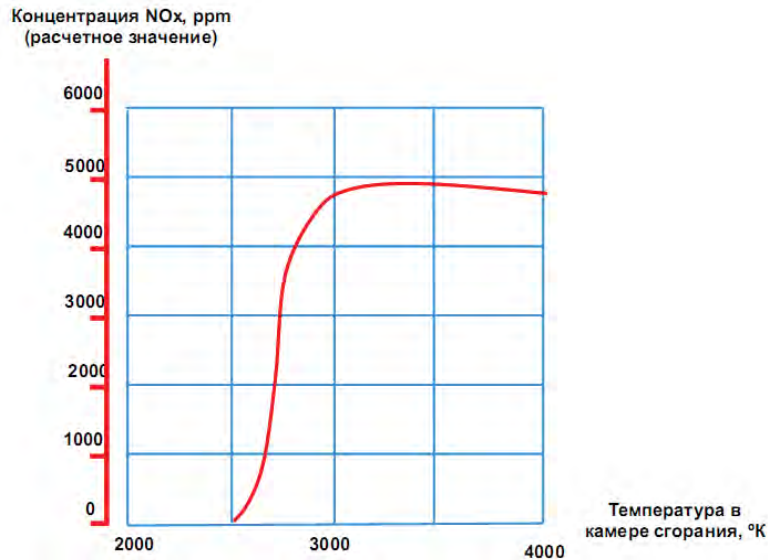


Рисунок 3.1-Зависимость концентрации NO_x от температуры в камере сгорания

При горении богатой смеси эмиссия NO_x уменьшается, что связано с недостатком свободного кислорода (рис.3.2). В точке, когда отношение воздух-топливо примерно равно 16:1, концентрация NO_x достигает максимального значения. Это объясняется увеличением температуры в камере сгорания, которая при таком составе смеси достигает максимальных значений.

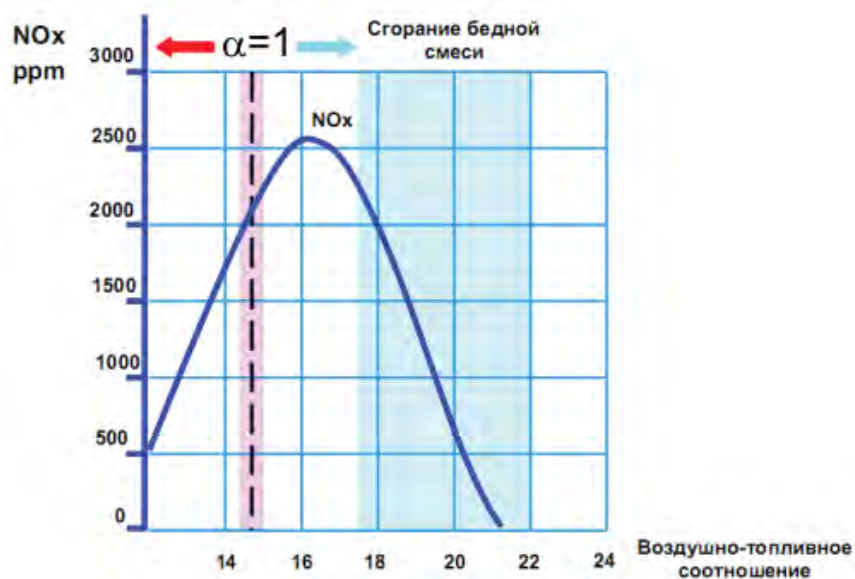


Рисунок 3.2- Зависимость концентрации оксидов азота в ОГ от состава смеси

Согласно общепринятой теории термического механизма Я.Б. Зельдовича окисление азота воздуха в топливовоздушной смеси происходит за фронтом пламени с температурой выше 1800 К в зоне продуктов сгорания при взаимодействии свободных радикалов O и N. Окисление происходит по цепному механизму, насчитывающему несколько десятков реакций, однако хорошо себя зарекомендовала и широко используется схема образования NO, включающая двух-



и трехступенчатый механизмы



Определяющей является реакция (9), скорость которой зависит от концентрации атомарного кислорода, и для ее осуществления необходимы значительные энергетические затраты ($E = 314$ кДж/моль). Кроме того необходима энергия и для образования атомарного кислорода ($E = 494/2$ кДж/моль). Высокий энергетический уровень приведенных реакций и объясняет определяющую зависимость «термического» механизма образования NO от температуры.

Согласно механизму Зельдовича, скорость образования NO значительно ниже скорости сгорания, и основная часть NO образуется после завершения горения. Поэтому при проведении расчетов образования NO в камере сгорания ДВС по «термическому» механизму концентрации атомарного азота и кислорода определяются исходя из условий равновесия основных компонентов продуктов сгорания.

Таким образом, в области высоких температур все реакции окисления углеводородного топлива интенсивно генерируют NO. В тоже время, вдали от фронта горения концентрация NO может уменьшаться, особенно на такте расширения, за счет протекания реакций восстановления азота



Основные положения этой теории можно сформулировать следующим образом.

1. Окисление азота происходит за фронтом пламени в зоне продуктов сгорания.
2. Образование оксида азота определяется максимальной температурой горения, концентрациями азота и кислорода в продуктах сгорания и не

зависит от химической природы топлива, участвующего в сгорании (при отсутствии в топливе азота).

3. Окисление азота происходит по цепному механизму. Определяющей является реакция (9), скорость которой зависит от концентрации атомарного кислорода.

4. Выход оксидов азота зависит от скорости охлаждения продуктов сгорания.

5. В бедных смесях (при малой подвижности реакции) выход NO определяется максимальной температурой сгорания, т.е. кинетикой его образования. В богатых смесях выход NO определяется кинетикой разложения, т.е. закалкой образовавшейся окиси азота.

6. Махе – эффект (неравномерное распределение температуры в зоне продуктов сгорания) ощутимо влияет на образование NO при горении бедных смесей и слабо при горении богатых.

Согласно «быстрому» механизму образования NO используется схема связывания молекулы азота углеводородными радикалами CH и CH₂ во фронте пламени:



Образовавшиеся азотные соединения быстро окисляются до NO в том числе и через промежуточные реакции. В отличие от термического механизма, реакции (17...19) протекают при значительно низких температурах, т.к. энергетические затраты, необходимые для осуществления этих реакций, малы. Скорость образования NO по «быстрому» механизму значительно выше, чем по «термическому».

Для проведения расчетов необходимо использование кинетической схемы, описывающей процессы сгорания углеводородного топлива и формирования NO по «быстрому» механизму.

Топливный механизм образования NO заключается в участии азота, содержащегося в топливе, в реакциях окисления. При этом азот топлива легче вступает в реакцию, чем атмосферный азот. В нефтепродуктах содержится до 5% азотистых соединений, из которых основными являются пиридин и его производные. Однако установлено, что для бензинов и дизельных топлив, получаемых из нефти, можно не учитывать реакции с топливным азотом из-за его низкого содержания. В тоже время для тяжелых топлив и мазутов пренебрегать содержанием топливного азота нельзя.

Причины повышенной концентрации NO_x в ОГ бензиновых двигателей могут быть следующие:

1. Неисправности системы охлаждения:

- недостаточное охлаждение радиатора воздушным потоком (засорение или некорректная работа системы управления вентилятором);
- недостаточное количество охлаждающей жидкости;
- заедание термостата в закрытом или слегка приоткрытом положении;
- засорение радиатора или системы охлаждения.

2. Переобеднение топливовоздушной смеси из-за подсоса воздуха во впускной коллектор.

3. Неправильная работа системы обратной связи приводящая к смещению регулирования в сторону обеднения смеси.

4. Нарушение работы системы обратной связи по причине неисправности кислородного датчика:

- низкая частота переключения кислородного датчика;
- смещение напряжения (увеличение) средней точки переключения кислородного датчика.

5. Нарушение или неэффективная работа системы рециркуляции отработавших газов EGR:

- засорение каналов, приводящее к уменьшению количества перепускаемых газов;
- неисправность исполнительного клапана системы EGR;
- неисправность электромагнитного клапана системы EGR;
- отсутствие управляющего сигнала на электромагнитном клапане системы EGR;
- .- засорение отверстий расположенных на дроссельной заслонке;
- засорение или повреждения воздушных шлангов системы EGR.

6. Нарушение работы системы зажигания:

- неверное значение базового угла опережения зажигания;
- неверный сигнал на входе блока управления двигателем;
- нарушение работы системы обратной связи при использовании датчика детонации.

7. Отложения нагара на впускных клапанах.

4. ПОПУТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

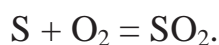
Кроме вредных компонентов (табл.1.1) в отработавших газах содержатся азот N_2 , кислород O_2 , углекислый газ CO_2 , пары воды H_2O окислы серы и др.

Азот негорюч, бесцветен и не имеет запаха. Он входит в элементарный состав воздуха, которым мы дышим (78% воздуха приходится на азот, 21% на кислород и 1% на прочие газы). В составе воздуха азот поступает в двигатель и присутствует при сгорании топлива в нем. Основная часть поступившего в двигатель азота вновь выбрасывается в неизменном состоянии в составе ОГ, но небольшая его часть вступает в реакцию с кислородом, образуя оксиды. Добавка за счет азота, содержащегося в топливе, незначительна, так как его концентрация в топливе не превышает 5,0% (и то только в тяжелых топливах, а в дизельном и бензине его нет).

CO_2 – (двуокись углерода, углекислый газ), бесцветный и негорючий газ образуется в результате сгорания топлива, содержащего углерод. Этот газ попал в поле зрения общественности в связи с дискуссиями о возможных изменениях климата в результате действия парникового эффекта. Углекислый

газ CO_2 уменьшает слой атмосферы, защищающий землю от солнечных ультрафиолетовых лучей, что приводит к дополнительному нагреву земной поверхности. Концентрация CO_2 в ОГ ДВС достигает максимума при стехиометрическом составе смеси и служит хорошим индикатором эффективного сгорания. Снижение концентрации CO_2 в отработавших газах происходит в случае отклонения состава смеси от стехиометрического, наличия пропусков воспламенения или неполадок в двигателе, приводящих к нарушению процессов сгорания (рис.4.1).

Продукты окисления серы S представлены в ОГ парами серной кислоты H_2SO_4 и твердыми сульфатами. Наличие каждого из этих продуктов обусловлено как уровнем температуры в камере сгорания, так и степенью взаимодействия с другими продуктами горения, находящимися в потоке ОГ. Первоначально же в КС проходит реакция с образованием сернистого ангидрида



SO_2 - бесцветный негорючий газ с резким запахом, действует раздражающе на кровеносные органы - костный мозг и селезенку, а также вызывает нарушения в обмене углеводов. Хроническое отравление малыми дозами двуокиси серы проявляется в виде головных болей, бессонницы, раздражении слизистой оболочки, а в некоторых случаях - хронического бронхита и конъюнктивита. Твердые фазы окислов серы увеличивают концентрацию твердых частиц в ОГ и являются одним из основных компонентов, сокращающих срок службы нейтрализаторов.

Характер изменения концентрации кислорода O_2 в отработавших газах противоположен характеру изменения CO . Большая концентрация кислорода O_2 возникает при работе двигателя на обедненных, а большая концентрация CO при работе на обогащенных смесях (рис.4.2).

Количество остаточного кислорода определяется в первую очередь типом рабочего процесса. В ДВС с принудительным воспламенением (бензиновые и газовые двигатели) состав топливовоздушной смеси близок к стехиометрическому ($\alpha = 0,85 \dots 1,15$). В итоге концентрация кислорода в ОГ обычно не превышает 2,0...3,0 % (по объему).

В дизелях содержание O_2 в ОГ зависит от наличия наддува и режима работы. На режиме холостого хода концентрация кислорода достигает 18 % по объему (при исходной концентрации кислорода в воздухе 21 %), а на режимах полной нагрузки – от 5,0...7,0 % для ДВС со свободным впуском воздушного заряда и до 10,0...13,0 % для двигателей с наддувом.

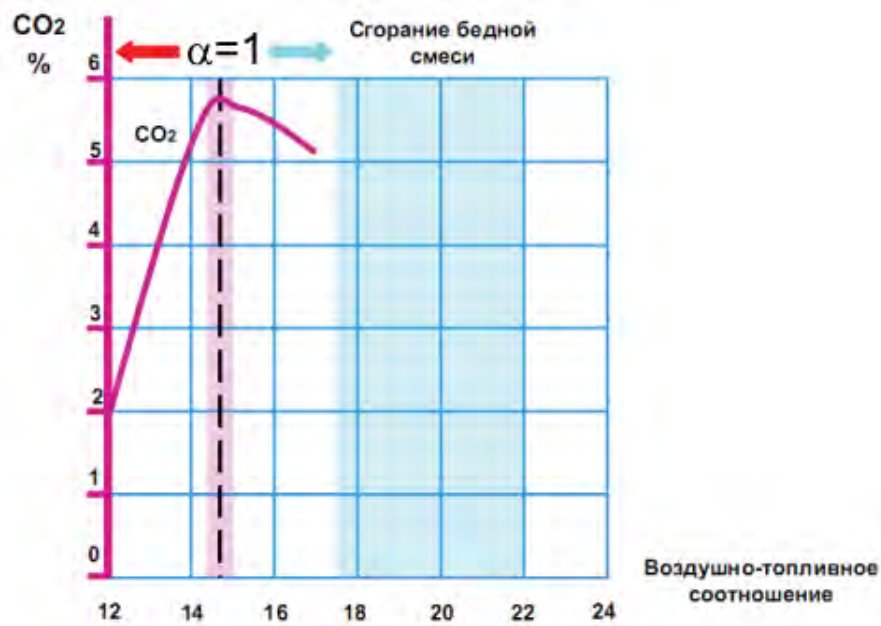


Рисунок 4.1-Зависимость концентрации CO₂ в ОГ от состава смеси

Наличие в ОГ продуктов износа деталей двигателя обусловлено износом трущихся пар: «поршень -цилиндр», «коленчатый вал – вкладыши», «стержень клапана – направляющая втулка», пары шестерен и т.д. Продукты износа попадают в масло и вместе с ним по стенкам цилиндра – в КС. Их содержание в ОГ ДВС определяется в основном техническим состоянием двигателя. Повышенное попадание масла в КС связано либо с износом поршневых колец, либо с износом направляющих втулок впускных и выпускных клапанов.

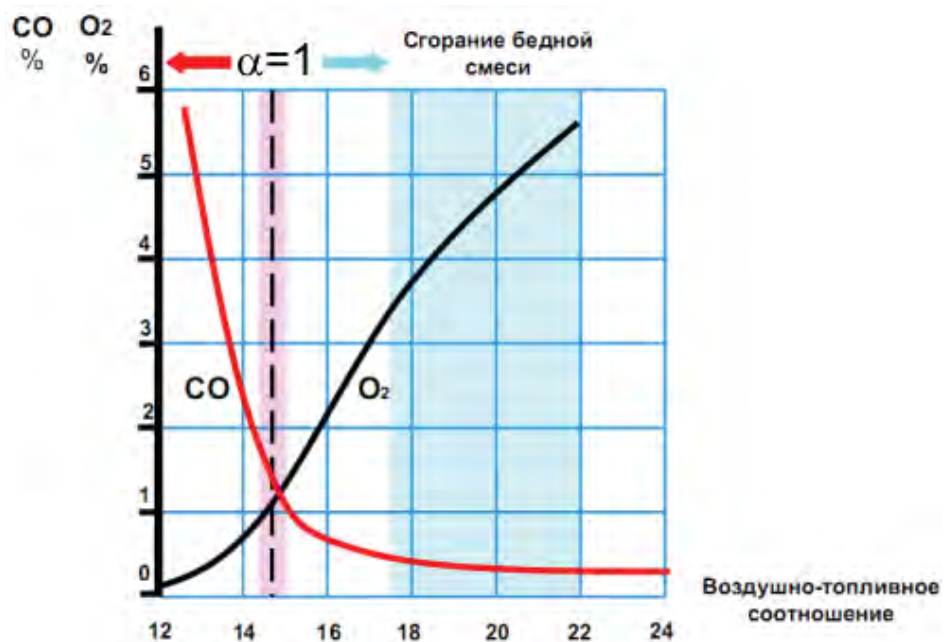


Рисунок 4.2-Зависимость концентрации O₂ и CO в ОГ от состава смеси

5. СМОГ

Смог (Smog, от smoke – дым и fog - туман) – ядовитый туман, образуемый в нижнем слое атмосферы, загрязненном вредными веществами от промышленных предприятий, выхлопными газами от автотранспорта и стационарных установок при неблагоприятных погодных условиях. Он представляет собой аэрозоль, состоящую из дыма, тумана, пыли, частичек сажи, капелек жидкости (во влажной атмосфере). Возникает в атмосфере промышленных городов при определенных метеорологических условиях (рис.5.1).



Рисунок 5.1 - Смог

Природа смогов различна. Например, в Нью-Йорке образованию смога способствуют реакции фтористых и хлористых соединений с капельками воды; в Лондоне – присутствие паров серной и сернистой кислот; в Лос-Анджелесе (калифорнийский или фотохимический смог) – наличие в атмосфере оксидов азота, углеводородов; в Японии – присутствие в атмосфере частиц сажи и пыли.

Различают два типа смога: зимний смог (лондонский тип) и летний (лос-анджелесский тип).

Лондонский тип смога возникает зимой в крупных промышленных городах при неблагоприятных погодных условиях (отсутствие ветра и температурная инверсия). Температурная инверсия проявляется в повышении температуры воздуха с высотой в некотором слое атмосферы (обычно в интервале 300 - 400 м от поверхности земли) вместо обычного понижения. В результате циркуляция атмосферного воздуха резко нарушается, дым и загрязняющие вещества не могут подняться вверх и не рассеиваются. Нередко возникают туманы. Концентрации оксидов серы, взвешенной пыли, оксида углерода достигают опасных для здоровья человека уровней, приводят к расстройству

кровообращения, дыхания, а нередко и к смерти. В 1952 г, в Лондоне от смога с 3 по 9 декабря погибло более 4 тыс. человек, до 10 тыс. человек тяжело заболели. В конце 1962 г. в Руре (ФРГ) смог убил за три дня 156 человек. Рассеять смог может только ветер.

Лос-анджелесский тип смога, или фотохимический смог, не менее опасен, чем лондонский. Возникает он летом при интенсивном воздействии солнечной радиации на воздух, насыщенный, а вернее перенасыщенный отработавшими газами автомобилей. В состав основных компонентов смога входят: озон; оксиды азота и серы; фотооксиданты. В Лос-Анджелесе, отработавшие газы более четырех миллионов автомобилей выбрасывают только оксидов азота в количестве более чем тысяча тонн в сутки. При очень слабом движении воздуха или безветрии в воздухе в этот период идут сложные реакции с образованием новых высокотоксичных загрязнителей - фотооксидантов (озон, органические перекиси, нитриты и др.), которые раздражают слизистые оболочки желудочно-кишечного тракта, легких и органов зрения. Только в одном городе (Токио) смог вызвал отравление 10 тыс. человек в 1970 г. и 28 тыс. в 1971 г. По официальным данным, в Афинах в дни смога смертность в шесть раз выше, чем в дни относительно чистой атмосферы.

К важнейшим экологическим последствиям глобального загрязнения атмосферы относятся:

- возможное потепление климата ("парниковый эффект");
- нарушение озонового слоя;
- выпадение кислотных дождей.

Парниковый эффект – явление вторичного нагрева атмосферы длинноволновым (инфракрасным) излучением от поверхности планеты, возвращаемым обратно к поверхности некоторыми газами, находящимися в атмосфере. При усилении парникового эффекта температура поверхности земли растет при сохранении постоянной радиационной температуры. Обусловлен парниковый эффект тем, что поверхность планеты нагревается под воздействием радиационного излучения Солнца: любое нагретое тело дает излучение в инфракрасном спектре, т. е. атмосфера дополнительно нагревается за счет инфракрасного излучения от поверхности планеты (рис.5.2). Кроме того, инфракрасное излучение отражается от поверхности облаков, и, возвращаясь к поверхности, дополнительно нагревает планету. К парниковым газам относят: диоксид углерода CO_2 , метан CH_4 , закись азота N_2O , гидрофторуглероды HFC , перфторуглероды PFC и гексафторид серы SF_4 . Наибольшее влияние на создание парникового эффекта оказывает диоксид углерода, массовый выброс которого в атмосферу наибольший – 68 % от суммарного выброса всех парниковых газов. На долю CH_4 приходится 21 %, N_2O – 10 %, на остальные – 1 %.

В 1997 г. (в г. Киото, Япония) на третьей конференции стран участниц РКИК было принято дифференцированное решение по допустимому уровню выбросов CO_2 каждой страной в результате антропогенной деятельности, т.е. были приняты нормы (квоты) выбросов. Этот документ известен как Киотский протокол. Цель данного документа – сократить

вредное влияние человеческой деятельности на состояние окружающей среды, выражающееся в интенсификации глобального потепления.

Явление парникового эффекта позволяет поддерживать на поверхности Земли температуру, при которой возможно возникновение и развитие жизни. Если бы парниковый эффект отсутствовал, средняя температура поверхности земного шара была бы значительно ниже, чем она есть сейчас. Однако при повышении концентрации парниковых газов увеличивается непроницаемость атмосферы для инфракрасных лучей, что приводит к повышению температуры Земли.

Парниковый эффект имеет место не только на Земле. Сильный парниковый эффект – на соседней планете, Венере. Атмосфера Венеры почти целиком состоит из углекислого газа, и в результате поверхность планеты разогрета до 475°C . Климатологи полагают, что Земля избежала такой участи благодаря наличию на ней океанов. Океаны поглощают атмосферный углерод, и он накапливается в горных породах, таких как известняк – посредством этого углекислый газ удаляется из атмосферы. На Венере нет океанов, и весь углекислый газ, который выбрасывают в атмосферу вулканы, там и остается. В результате на планете наблюдается неуправляемый парниковый эффект.

К возможным последствиям изменения климата на земле можно отнести.

1. Изменение частоты и интенсивности выпадения осадков.

В целом климат на планете станет более влажным. Но количество осадков не распространится по Земле равномерно. В регионах, которые и так на сегодняшний день получают достаточное количество осадков, их выпадение станет интенсивнее. А в регионах с недостаточным увлажнением участятся засушливые периоды.



Рисунок 5.2 – Схема возникновения парникового эффекта

2. Повышение уровня моря.

В течение XX века средний уровень моря повысился на 0,1...0,2 м. По прогнозам ученых, за XXI век повышение уровня моря составит до 1 м. В этом случае наиболее уязвимыми окажутся прибрежные территории и небольшие острова. Такие государства как Нидерланды, Великобритания, а также малые островные государства Океании и Карибского бассейна первыми подпадут под опасность затопления. Кроме этого учащаются высокие приливы, усилится эрозия береговой линии.

3. Угроза для экосистем и биоразнообразия.

Существуют прогнозы исчезновения до 30...40% видов растений и животных, поскольку их среда обитания будет изменяться быстрее, чем они могут приспособиться к этим изменениям. При повышении температуры на 1 градус прогнозируется изменение видового состава леса. Леса являются естественным накопителем углерода. Переход от одного типа леса к другому будет сопровождаться выделением большого количества углерода.

4. Таяние ледников.

Современное оледенение Земли можно считать одним из самых чутких индикаторов происходящих глобальных изменений. Спутниковые данные показывают, что начиная с 1960-х годов произошло уменьшение площади снежного покрова примерно на 10%. С 1950-х годов в Северном полушарии площадь морского льда сократилась почти на 10...15%, а толщина уменьшилась на 40%. По прогнозам экспертов Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (Санкт-Петербург), уже через 30 лет Северный ледовитый океан в течение теплого периода года будет полностью вскрываться из подо льда.

По данным ученых, толщина Гималайских льдов тает со скоростью 10...15м в год. При нынешней скорости этих процессов две трети ледников исчезнут к 2060 году, а к 2100 все ледники растают окончательно. Ускоренное таяние ледников создает ряд непосредственных угроз человеческому развитию. Для густонаселенных горных и предгорных территорий особую опасность представляют лавины, затопления или, наоборот, снижение полноводности рек, а как следствие сокращение запасов пресной воды.

5. Сельское хозяйство.

Влияние потепления на продуктивность сельского хозяйства неоднозначно. В некоторых районах с умеренным климатом урожайность может увеличиться в случае небольшого увеличения температуры, но снизится в случае значительных температурных изменений. В тропических и субтропических регионах урожайность в целом, по прогнозам, будет снижаться.

Самый серьезный удар может быть нанесен беднейшим странам, наименее всего готовым приспособиться к изменениям климата. По данным МГЭИК, к 2080 г. число людей, сталкивающихся с угрозой голода, может увеличиться на 600 млн. чел., что вдвое больше числа людей, которые сегодня живут в бедности в Африке к югу от Сахары.

6. Водопотребление и водоснабжение.

Одним из последствий климатических изменений может стать нехватка питьевой воды. В регионах с засушливым климатом (Центральная Азия, Средиземноморье, Южная Африка, Австралия и т. п.) ситуация еще более усугубится из-за сокращения уровня выпадения осадков. Из-за таяния ледников существенно снизится сток крупнейших водных артерий Азии – Брахмапутры, Ганга, Хуанхэ, Инда, Меконга, Салуэна и Янцзы. Недостаток пресной воды коснется не только здоровья людей и развития сельского хозяйства, но также повысит риск политических разногласий и конфликтов за доступ к водным ресурсам.

7. Здоровье человека.

Изменение климата, по прогнозам ученых, приведет к повышению рисков для здоровья людей, прежде всего менее обеспеченных слоев населения. Так, сокращение производства продуктов питания неизбежно приведет к недоеданию и голоду. Аномально высокие температуры могут привести к обострению сердечнососудистых, респираторных и других заболеваний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение состава отработавших газов бензиновых и дизельных двигателей показывает, что их составы ОГ в основном подобны составу отработавших газов других типов двигателей внутреннего сгорания, использующих углеводородное топливо. Отличия связаны с особенностями протекания рабочих процессов в различных типах двигателей. В общем случае содержание газообразных продуктов неполного сгорания топлива (СО, СН) в отработавших газах дизеля существенно ниже, чем в отработавших газах бензинового двигателя, что обусловлено, главным образом, работой с большими коэффициентами избытка воздуха по сравнению с бензиновыми двигателями. Дизель имеет также заметное преимущество по выбросам альдегидов и бенз(а)пирена. Выбросы оксидов азота NO_x у этих двух типов двигателей соизмеримы. Дымность отработавших газов (содержание сажи С) выше у дизеля. Это связано в основном с большей неравномерностью температур и состава топливовоздушной смеси по объему камеры сгорания, а также с увеличением недостатка воздуха в этих локальных зонах на переходных режимах работы дизеля.

**Токсические концентрации и симптомы при отравлении людей
оксидом углерода**

Концентрация, мг/л	Длительность воздействия	Содержание НвСО, %	Симптомы отравления
1	2	3	4
0,006	25 мин	-	Снижение цвето- вой и световой чувствительности глаз
0,031	3 ч	-	Снижение точ- ности зрительно- го восприятия пространства и ночного зрения
> 0,05...0,06	2 ч	-	Снижение слуха. Изменения ЭЭГ
	5 ч	-	Ухудшение вы- полнения психо- логических тес- тов
0,08...0,11	3,5...5 ч	7...10	Снижение скоро- сти зрительного восприятия, ухудшение вы- полнения психо- логических и психомоторных тестов, коорди- нации мелких точных движе- ний и аналити- ческого мышле- ния
0,22	2...3 ч	-	Легкая боль в об- ласти лба
1	2	3	4

0,23	6 ч	16...20	Боль в области лба, ощущение давления на лоб, быстро исчезающие на свежем воздухе; расширение кожных кровеносных сосудов; снижение физической работоспособности
0,23...0,34	5...6 ч	23...30	Головная боль. Ощущение пульсации в висках. Головокружение
0,34	4 ч	22...24	То же
	5 ч	26...27	То же
0,44...0,46	1 ч	15...19	Боли в области лба и затылка
	2 ч	21...28	То же
	2,5-3 ч	-	То же
0,46...0,69	4...5 ч	36...40	Сильная головная боль, слабость, головокружение, туман перед глазами, тошнота и рвота, коллапс
0,8...1,0	20...30 мин	-	Головная боль, общая мышечная слабость, тошнота; потери трудоспособности не было
0,88	45 мин	-	Головная боль, головокружение, тошнота
	2 ч	-	Потеря сознания; коллапс
1	2	3	4

0,8...1,15	3...4 ч	47...53	Сильная головная боль, слабость, головокружение, туман перед глазами, тошнота, рвота, учащение пульса, коллапс
1,35	33 мин...1,5 ч	-	Сердцебиение. Легкое пошатывание, одышка при легкой мышечной работе, расстройства зрения и слуха
	2 ч	-	Пульсирующая головная боль, спутанность в мыслях
1,26...1,72	1,5...3 ч	55...60	Учащение дыхания и пульса; кома, судороги; дыхание Чейна-Стокса
1,76	20 мин	-	Головная боль, головокружение, тошнота
	2 ч	-	Потеря сознания, коллапс
1,8...2,3	1...1,5 ч	61...64	То же. Ослабление дыхания и сердечной деятельности. Может наступить смерть
2,3...3,4	30...45 мин	64...68	То же
3,52	5...10 мин	-	Головная боль, головокружение
	30 мин	-	Рвота, потеря сознания
1	2	3	4

3,4...5,7	20...30 мин	68...73	Слабый пульс, замедление и ос- та- новка дыхания. Смерть
5,7...11,5	2...5 мин	73...76	То же
7,04	1...2 мин	-	Головная боль, головокружение
	10...15 мин	-	Потеря сознания, рвота
14,08	1...3 мин	-	Потеря сознания, рвота, смерть

Концентрация СО в атмосфере и клинические проявления

СО в атмосфере (ppm, см ³ /м ³)	Длительность экспозиции	НвСО (%)	Симптомы
Менее 70 (0,007 %)	неопределенно	1...10	-
70...120 (0,007...0,012 %)	Много часов	10...20	Никаких или головная боль у здоровых людей, возможна ишемия миокарда при нагрузке у больных с коронарной недостаточностью
200...300 (0,02...0,03 %)	4...6 ч	15...30	Головная боль, тошнота, нарушение координации движений, головокружение
500 (0,05 %)	3 ч	30...40	Интенсивная головная боль, спутанность сознания, кратковременная потеря сознания (липотимия), одышка при нагрузке, рвота
1000 (0,1 %)	2 ч	40...60	Потеря сознания, возможны судороги
1000...2000 (0,1...0,2 %)	1...2 ч	60...70	Кома, остановка дыхания, возможна смерть
5000 (0,3 %)	Менее 20 мин	70...80	Смерть
12800 (1,28%)	Менее 3 мин	> 80	Потеря сознания после 2-3 дыхательных движений. Смерть менее чем через 3 мин

Воздействие оксидов азота на организм человека

Оксид азота NO и диоксид азота N₂O в атмосфере встречаются вместе, поэтому чаще всего оценивают их совместное воздействие на организм человека. По мере удаления от источника выброса все большее количество NO превращается в NO₂ - бурый, обладающий характерным неприятным запахом газ. Диоксид азота сильно раздражает слизистые оболочки дыхательных путей. Вдыхание ядовитых паров диоксида азота может привести к серьезному отравлению. Диоксид азота вызывает сенсорные, функциональные и патологические эффекты. К сенсорным эффектам можно отнести обонятельные и зрительные реакции организма на воздействие NO₂. Даже при малых концентрациях, составляющих всего 0,23 мг/м³, человек ощущает присутствие этого газа. Эта концентрация является порогом обнаружения диоксида азота. Однако способность организма обнаруживать NO₂ пропадает после 10 минут вдыхания, но при этом ощущается чувство сухости и першения в горле. Хотя и эти признаки исчезают при продолжительном воздействии газа в концентрации, в 15 раз превышающей порог обнаружения. Таким образом, NO₂ ослабляет обоняние.

Диоксид азота воздействует не только на обоняние, но и ослабляет ночное зрение – способность глаза адаптироваться к темноте. Этот эффект же наблюдается при концентрации 0,14 мг/м³, что, соответственно, ниже порога обнаружения.

Функциональным эффектом, вызываемым диоксидом азота, является повышенное сопротивление дыхательных путей. Иными словами, NO₂ вызывает увеличение усилий, затрачиваемых на дыхание. Эта реакция наблюдалась у здоровых людей при концентрации NO₂ всего 0,056 мг/м³, что в четыре раза ниже порога обнаружения. А люди с хроническими заболеваниями легких испытывают затрудненность дыхания уже при концентрации 0,038 мг/м³.

Патологические эффекты проявляются в том, что NO₂ делает человека более восприимчивым к патогенам, вызывающим болезни дыхательных путей. У людей, подвергшихся воздействию высоких концентраций диоксида азота, чаще наблюдаются катар верхних дыхательных путей, бронхиты, круп и воспаление легких. Кроме того, диоксид азота сам по себе может стать причиной заболеваний дыхательных путей. Попадая в организм человека, NO₂ при контакте с влагой образует азотистую и азотную кислоты, которые разъедают стенки альвеол легких. При этом стенки альвеол и кровеносных капилляров становятся настолько проницаемыми, что пропускают сыворотку крови в полость легких. В этой жидкости растворяется вдыхаемый воздух, образуя пену, препятствующую дальнейшему газообмену. Возникает отек легких, который зачастую ведет к летальному исходу. Длительное воздействие оксидов азота вызывает расширение клеток в корешках бронхов (тонких разветвлениях воздушных путей альвеол), ухудшение сопротивляемости лег-

ких к бактериям, а также расширение альвеол. Некоторые исследователи считают, что в районах с высоким содержанием в атмосфере диоксида азота наблюдается повышенная смертность от сердечных и раковых заболеваний. Люди, страдающие хроническими заболеваниями дыхательных путей (эмфиземой легких, астмой) и сердечно-сосудистыми болезнями, могут быть более чувствительны к прямым воздействиям NO_2 . У них легче развиваются осложнения (например, воспаление легких) при кратковременных респираторных инфекциях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания.-2-е изд., перераб.-М.: Машиностроение, 1981.-160с.
2. Кульчитский А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие/ Владим.гос. ун-т. Владимир, 2000.-256с.
3. Левтеров А.М, Левтерова Л.И., Гладкова Н.Ю. Образование монооксида азота и исследование влияния на его эмиссию регулируемых параметров двигателя и вида используемого топлива//Двигатели внутреннего сгорания, Всеукраинский научно-технический журнал, 2010, №2.-С.113-117.
4. Альферович В.В. Токсичность ДВС. Учебное издание. [http://Library.bntu.by/text/trudu/Alferrovich/dok 5. pdf](http://Library.bntu.by/text/trudu/Alferrovich/dok%205.pdf)
5. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей.- 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. – 376с.
6. <http://www.ismu.baikal.ru/books/zobnin-carbon-monoxide.pdf>
Отравление монооксидом углерода (угарным газом) / Под редакцией председателя Иркутского отделения МБО «Ассоциация клинических токсикологов», кандидата медицинских наук, доцента Иркутского государственного медицинского университета Ю. В. Зобнина. - Санкт-Петербург, 2011. – 86 с.