

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВС

Н. В. Савенков, к.т.н., доцент; Т. И. Савенкова, к.т.н., доцент; Е. А. Власенко

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Аннотация. В статье выполнен обзор веществ, содержащихся в составе отработавших газов ДВС автомобильного транспорта и относящихся к вредным, согласно международных нормативов; для этих веществ рассмотрены соответствующие максимально допустимые удельные показатели, установленные различными экологическими стандартами в области автомобильного транспорта, распространенные причины их превышения, а также способы для экспериментального определения. В работе рассмотрены основные пути снижения вредных выбросов и обосновано соответствующее направление, основанное на совершенствовании методов и средств измерения состава отработавших газов с учетом динамики неуставившихся режимов работы агрегатов силовой установки, а также их конструктивных и регулировочных параметров. Результаты в ходе дальнейших исследований позволят выбрать для конкретных эксплуатационных условий рациональное сочетание перечисленных выше параметров с целью улучшения экологических свойств автотранспортных средств.

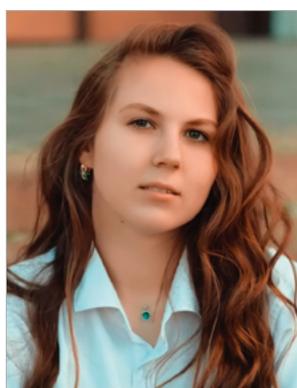
Ключевые слова: отработавшие газы, вредные вещества, токсичность, двигатель внутреннего сгорания, автомобили, способы определения, выбросы, загрязнение атмосферного воздуха.



Савенков
Никита Владимирович



Савенкова
Татьяна Ивановна



Власенко
Екатерина Александровна

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Отработавшие газы (ОГ) двигателей внутреннего сгорания автомобилей являются источниками загрязнения окружающей среды. В результате выбросов вредных веществ загрязняется атмосферный воздух, из-за чего крупные города могут становиться зонами экологического бедствия. В связи с развитием и увеличением количества автомобилей, интенсификации транспортных потоков и непостоянством мер по снижению выбросов вредных веществ в процессе эксплуатации, проблема дальнейшего снижения токсичности выбросов от ДВС автомобилей становится все более актуальной [1].

Опираясь на вышеизложенную информацию, можно сказать, что одним из наиболее важных моментов является вопрос усовершенствования способов и средств измерения концентрации компонентов отработавших газов.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В соответствии с Правилами ЕЭК ООН № 49, в настоящий период к наиболее опасным для организма человека составляющим отработавших газов ДВС относятся: оксиды азота NO_x , твердые частицы, ароматические углеводороды (соединения вида C_nH_m), оксид углерода CO . Прочие компоненты автомобильных выхлопных газов также вредны, но их относительное содержание в отработавших газах гораздо меньше [2, 3, 4, 5].

Загрязнение атмосферного воздуха населенных пунктов вредными веществами, выбрасываемыми автотранспортом, часто обуславливает концентрации вредных веществ в воздухе, во много раз превышающие предельно-допустимые для здоровья человека.

Под токсичностью выбросов двигателей автотранспортных средств понимают способность выбросов двигателя оказывать токсическое воздействие на людей, животный мир. Токсическое воздействие определяется составом вредных веществ; абсолютным количеством выбросов токсичных веществ в единицу времени (или на единицу пути, пройденного транспортным средством, или на единицу выполненной двигателем работы для внедорожного транспортного средства); физико-химическими законами превращения химических соединений в атмосфере; геофизическими законами распространения токсичных веществ; чувствительностью живых организмов.

Для оценки суммарной токсичности отработавших газов используют величины предельно-допустимых концентраций (ПДК) компонентов выбросов (таблица 1).

Таблица 1.

ПДК основных компонентов отработавших газов

Наименование вещества	NO ₂	CO	C _n H _m	Твердые частицы (сажа)
ПДК _{сс} , мг/м ³	0,04	3	0,04	0,05

Возможные причины превышения содержания загрязняющих веществ в отработавших газах могут быть различными: конструкционные (возникающие вследствие несовершенства конструкции или нарушения требований технических условий и установленных норм на проектирование изделия), производственные (возникающие вследствие нарушения технологии изготовления или ремонта), эксплуатационные (режимные условия работы агрегатов, техническое состояние, износ систем и агрегатов автомобиля, включая ДВС – загрязнение воздушного фильтра, перегревание, излишнее попадание масла в цилиндры через поврежденные или изношенные поршневые кольца, неправильное регулирование системами и механизмами и др.) [6].

Соответственно, с помощью автомобильных газоанализаторов возможно своевременно регулировать работу ДВС с позиции экологической эффективности, а также решать различные параметры по рациональному выбору конструкционных и режимных параметров ДВС и силовой установки автомобиля с учетом эксплуатационных условий и действующих ограничений на выбросы вредных веществ с отработавшими газами.

Цель исследования. Определить основные способы измерения концентрации компонентов отработавших газов автомобильных ДВС и провести анализ существующих современных средств измерения.

Задачи исследования: выполнить обзор вредных веществ, присутствующих в составе отработавших газов автомобильного ДВС; рассмотреть возможные причины превышения их концентрации; обобщить данные по ориентировочному и предельному количеству этих веществ, в том числе на основании соответствующих экологических стандартов; проанализировать применяемые способы измерения концентрации газов, назначение и применение данных испытаний; рассмотреть проблему и важность определения экологических показателей на неустановившихся режимах

работы ДВС; сформулировать основные пути снижения выбросов загрязняющих веществ.

Материалы и результаты исследования. В нынешних обстоятельствах одним из приоритетных требований, применяемых к автомобилям, являются ограничения по выбросам вредных веществ. В отработавших газах ДВС находится больше 170 вредных веществ, 160 из которых – производные углеводородов, образующиеся при неполном сгорании топлива.

В таблице 2 приведен состав отработанных газов ДВС [7].

В таблицах 3, 4 приведено содержание вредных веществ в отработавших газах в соответствии с каждым стандартом ЕВРО (в единицах г/км) [8].

С целью установления содержания загрязняющих веществ в отработавших газах используются специализированные газоанализаторы, которые представляют собой как автономные, так и интегрированные в некоторые модели мотор-тестеров, приборы.

В настоящее время используются два типа газоанализаторов – каталитические и инфракрасные [9]. Принцип работы первых основан на физико-химическом явлении катализации содержащейся в отработавших газах оксида углерода СО и фиксации повышения вследствие этого температуры при помощи электрического моста. Принцип действия инфракрасных газоанализаторов базируется на поглощении газовыми элементами инфракрасных лучей с различной длиной волны.

В систему газоанализатора интегрированы инфракрасные излучатели и приемники излучения. Анализируемая смесь подается в измерительные элементы. Установить концентрацию какого-нибудь компонента в составе газовой смеси возможно, согласно величине уменьшения интенсивности инфракрасных лучей, проходящих через газ и поступающих на приемник.

Так как такой способ возможно использовать только для установления концентрации СО, СО₂ и СН, то в последующем этапе состав отработавших газов из измерительной кюветы поступает последовательно на датчики электрохимического типа с целью измерения кислорода О₂ и оксидов азота NO_x.

Измерительное оборудование, используемое для анализа отработавших газов, с точки зрения подачи в них проб газов можно разделить на:

- приборы для периодических или непрерывных замеров элементов газов, поступающих напрямую в прибор;

- устройства для периодических измерений компонентов газов, подаваемых в прибор из емкостей, прежде заполненных отработавшими газами.

Посредством полного анализа состава отработавших газов экспериментальными методами также возможно определить полноту сгорания топлива смеси в двигателе. Применяемые на сегодняшний день способы анализа позволяют осуществлять достаточно точную количественную оценку компонентов, содержащихся в отработавших газах.

В частности, в последние годы получил широкое распространение способ анализа отработавших газов автомобилей, ранее применяемый при тестировании

Таблица 2.

Состав отработавших газов двигателей внутреннего сгорания

Компонент ОГ	Концентрация ОГ		Токсичные компоненты ОГ 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%	05-9,0%	15-100	–
Диоксид углерода CO ₂	5,0-12,0%	1,0-12,0%	40-240	–
Оксиды азота, NO _x в том числе:	0,01-0,8%	0,004-0,5%	1,0-8,0	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 CH _x	0,2-3,0%	0,009-0,3%	0,25-2,0	1,5-8,0
Бенз(а)пирен C ₂₀ H ₁₂	0-20 мкг/м ²	0,05-1,0 мкг/м ²	От 0,2 · 10 ⁻⁶ До 0,5 · 10 ⁻⁶	От 1·10 ⁻⁶ До 2 · 10 ⁻⁶
Сажа С	0-0,04 г/м ³	0,01-1,1 г/м ³	0,05-0,5	0,25-2,0
Оксиды серы SO _x , в том числе:	До 0,008%	0,002-0,02%	–	–
диоксид серы SO ₂	–	0,0018-0,02%	1,0-0,5	0,4-2,5
триоксид серы SO ₃	–	0,00004-0,0006%	–	–
Альдегиды RCHO, в том числе:	0-0,2%	0,0001-0,002%	1,0-10,0	–
формальдегид HCHO	–	0,0001-0,0019%	–	–
акролеин CH ₂ CHCHO	–	0,0001-0,00013%	0,001-0,04	0,06-0,2

Таблица 3.

Содержание вредных веществ в отработавших газах согласно экологическому стандарту ЕВРО для дизельного двигателя

Экологический класс	Оксид углерода (II) CO	Оксид азота (NO _x)	HC+NO _x	Взвешенные частицы (PM)
ЕВРО-1	2,72 (3,16)	–	0,97 (1,13)	0,140 (0,180)
ЕВРО-2	1,00	–	0,70	0,080
ЕВРО-3	0,64	0,50	0,56	0,050
ЕВРО-4	0,50	0,25	0,30	0,025
ЕВРО-5	0,50	0,18	0,23	0,005
ЕВРО-6	0,50	0,08	0,17	0,005

Таблица 4.

Содержание вредных веществ в отработавших газах согласно экологическому стандарту ЕВРО для бензинового двигателя

Экологический класс	Оксид углерода (II) CO	Углеводород	Летучие органические вещества (ТМНС)	Оксид азота (NO _x)	HC+NO _x	Взвешенные частицы (PM)
ЕВРО-1	2,72 (3,16)	–	–	–	0,97 (1,13)	–
ЕВРО-2	2,20	–	–	–	0,50	–
ЕВРО-3	2,30	0,20	–	0,15	–	–
ЕВРО-4	1,00	0,10	–	0,08	–	–
ЕВРО-5	1,00	0,10	0,068	0,06	–	0,0050*
ЕВРО-6	1,00	0,10	0,068	0,06	–	0,0050*
ЕВРО-6D temp	1,00	0,10	0,068	0,06	–	0,0045*

* Относится только к автомобилям с двигателями с прямым впрыском

ях двигателей внутреннего сгорания. На основании информации касательно количественного состава отработавших газов можно получить ряд значимых данных о процессе работы мотора, в частности:

- дать оценку качеству процессов образования смеси и газообмена;
- определить воздействие различных факторов и условий на протекание процесса сгорания с целью эффективного воздействия на отдельные его периоды;
- установить окончательные итоги процесса сгорания, а также определить степень полноты сгорания, обусловленную физическими и химическими факторами.

Для проведения анализа отработавших газов используются способы, базирующиеся на применении химических свойств отдельных компонентов, присутствующих в составе газовых смесей. К химическим способам анализа относятся метод Орса и колориметрический метод [10]. К физическим относятся способы, базирующиеся на использовании физических свойств исследуемых элементов:

- ионизации при сгорании углеводородов в пламени водородной горелки;
- абсорбции (поглощения) инфракрасного либо ультрафиолетового излучения исследуемой сферой;
- теплопроводности газов, магнитной чувствительности кислорода по отношению к иным газам.

Кроме того, также распространение получил аналитический способ газовой хроматографии, базирующийся на использовании разных видов поглощения (сорбции) и улетучивания (десорбции) наполнителем колонки (сорбентом) отдельных веществ, содержащихся в проходящем посредством колонки газе-носителе.

1. Способ поглощательной спектрофотометрии – колориметрия. Такие способы являются оптическими способами, в базе которых находится применение влияния электромагнитного излучения на исследуемую пробу. Более популярными считаются способы абсорбционной спектрофотометрии видимого, ультрафиолетового и инфракрасного излучения. Все, без исключения, способы поглощательной спектрофотометрии базируются на измерении абсорбции (поглощения) электромагнитного излучения с определенной длиной волны исследуемой средой.

Более используемым способом колориметрических замеров считается способ эталонной-аналитической кривой. Этот метод заключается в установлении зависимостей между концентрацией (в определенных границах) окрашенного элемента в растворе, а также величиной поглощения излучения.

2. Способ газовой хроматографии. Газовая хроматография используется при рассмотрении отработавших газов с целью определения углеводородов. Способ газовой хроматографии базируется в применении адсорбции газов и паров на твердый носитель – сорбент либо равновесную систему жидкость – газ, при этом жидкость пребывает в неподвижном состоянии вследствие осаждения ее в виде очень тонкого слоя на твердый сорбент.

3. Хемилюминесцентный способ. Посредством измерения количества NO или с помощью измерения

суммы $NO+NO_2$ можно установить концентрацию оксидов азота в отработавших газах моторов. Определено, что при проведении анализа отработавших газов, образующихся вследствие сгорания бедных смесей, в анализаторе инфракрасного излучения NO в пробе газа стремительно окисляется в NO_2 . По этой причине в случае, если окисление в рассматриваемой пробе совершается в одной емкости анализатора, нужен двойной анализ. Помимо этого, принимая во внимание присутствие в отработавших газах CO_2 , O_2 , CO, SO_2 , а также водяного пара, измерения необходимо осуществлять выборочно.

В настоящий период времени применяют такие ключевые способы определения оксидов азота в отработавших газах: массовая спектрометрия, поглощение ультрафиолетового излучения – на недисперсионном анализаторе, химический колориметрический метод Зальцмана, поглощение инфракрасного излучения – на недисперсионном анализаторе, хемилюминесцентный метод, газовую хроматографию [11].

Работа ДВС на неустановившемся режиме (например, в процессе разгона автомобиля) отличается от работы его на установившихся режимах. При переходе на режим разгона увеличивается эффективный удельный расход топлива, имеет место ухудшение экологических показателей двигателя [12]. К основным причинам, вызывающим ухудшение мощностных и экологических показателей двигателей при разгоне, относятся: нарушение смесеобразования; несоответствие нового теплового режима тепловому состоянию цилиндра-поршневой группы двигателя; ухудшение наполнения цилиндра свежей смесью; влияние гидравлической и механической инерции; несоответствующий новому режиму угол опережения зажигания и нарушение процесса сгорания [13].

Рассмотренные в настоящей статье способы определения состава отработавших газов ДВС главным образом применяются для проведения испытаний на установившихся режимах работы двигателя, т.к. обладают значительной инерционностью – временем, необходимым для выполнения анализа отобранной пробы. Это в значительной степени затрудняет исследование экологических показателей ДВС на отдельно взятом неустановившемся режиме.

Таким образом, принимая во внимание, что экологичность двигателя выделяется одним из важнейших эксплуатационных показателей автомобиля, различные экспериментальные способы и методики измерения состава отработавших газов на неустановившихся режимах с достаточной точностью являются востребованными и позволят более достоверно в качестве одного из факторов рассматривать режимные параметры работы ДВС, в частности, на режимах разгона АТС, которые являются преобладающими в современных эксплуатационных условиях [14,15].

В настоящее время существует несколько путей снижения выбросов загрязняющих веществ с отработавшими газами, выделяемыми автомобилями. В общем случае, уменьшение количества выбросов загрязняющих веществ в выхлопных газах автомобилей, возможно достигнуть [16]:

- совершенствованием процесса сгорания за счет оптимизации контроля и настроек систем, ока-

зывающих влияние на качественную и количественную составляющие выбросов;

- повышением качества топлива, использование его альтернативных разновидностей, включая многотопливные системы;
- установкой систем очистки отработавших газов в системы выпуска и использованием разных методов очистки выхлопных газов от токсичных и опасных веществ;
- применением гибридных силовых установок;
- рациональным выбором наборов эксплуатационных режимов работы агрегатов.

ВЫВОДЫ

Подводя итог можно отметить, что значительное влияние на атмосферный воздух, а также организм человека оказывают вредные вещества, которые содержатся в отработавших газах. На состав и количественные характеристики выбросов загрязняющих веществ в отработавших газах оказывают влияние множество различных условий и факторов, таких как: состав топливо-воздушной смеси, конструктивное совершенство систем ДВС, техническое состояние, наборы режимов силовых агрегатов в эксплуатации, а также алгоритмы систем управления рабочими процессами и др. Исходя из этого, актуальной является задача совершенствования способов исследования и контроля содержания загрязняющих веществ в отработавших газах, в особенности с учетом неустановившихся режимов работы агрегатов. Это позволит более достоверно определять экологические свойства автотранспортных средств в реальных условиях эксплуатации, а также путем математического моделирования — для стандартизированных ездовых циклов и в перспективе создавать силовые установки, обладающие рациональными конструктивными и режимными параметрами с позиции защиты окружающей среды.

Список литературы

1. *Автотранспорт и загрязнение окружающей среды: учебник для студентов высших учебных заведений / Степановских А. С. Экология: Учебник для вузов. — М.: Изд-во ГЕОС, 1999. 4. — Текст: непосредственный.*
2. *Правила ЕЭК ООН № 49. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия и двигателей, работающих на природном газе, а также двигателей с принудительным зажиганием: официальное издание: утверждены и введены в действие Постановлением Госстандарта России от 26 мая 1999г. № 184. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2000 год. Текст: электронный.*
3. *ГОСТ Р 52033-2003 Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния (с Изменением № 1): официальное издание: утверждено и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 27 марта 2003г. № 100-ст. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2004 год. Текст: электронный.*
4. *Правила ЕЭК ООН № 84. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения дорожных транспортных средств, оборудованных двигателем внутреннего сгорания, в отношении измерения потребления топлива: официальное издание: утверждены и введены в действие Постановлением Госстандарта России от 26 мая 1999г. № 184. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2001 год. Текст: электронный.*
5. *Вяткин, М. Ф. О влиянии выхлопных газов автомобилей на здоровье человека / М. Ф. Вяткин, М. В. Куимова. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 10 (90). — С. 87-88. — [Электронный ресурс] URL: <https://moluch.ru/archive/90/19172/>.*
6. *Двигатели внутреннего сгорания. / Под ред. Орлина А. С., Круглова М. Г., М.: Машиностроение, 1984 - 382 с. — Текст: непосредственный.*
7. *Альферович, В. В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания: Учебно-методическое пособие для студентов специальности: 1-37.01.01 «Двигатели внутреннего сгорания» дневной и заочной форм обучения, часть 1, 2016. — Текст: электронный.*
8. *Справочные таблицы: infotables.ru. — Москва — URL: <https://infotables.ru/avtomobili/1214-ekologicheskij-klass-avtomobilya> (дата обращения: 25.01.2023) — Текст: электронный.*
9. *Марков, В. А. Токсичность отработавших газов дизелей. / В. А. Марков, Р. М. Баширов, И. И. Габитов — М.: Изд-во МГТУ, 2002. — 376 с. — Текст: непосредственный.*
10. *Звонов, В. А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. - 2-е изд., перераб. — М.: Машиностроение, 1981. — 160 с. — Текст: непосредственный.*
11. *Кульчицкий, А. Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей. — М.: Академический проект, 2004. — 400 с. — Текст: непосредственный.*
12. *Горожанкин, С. А. Проблемы измерения токсичности отработавших газов бензиновых двигателей при их работе на неустановившихся режимах / С. А. Горожанкин, Н. В. Савенков, Б. В. Овчарук // Вісник СевНТУ. — 2013. — № 143. — С. 185-187. — EDN UHSJKZ. — Текст: непосредственный.*
13. *Акатов, Е. М. Работа автомобильного двигателя на неустановившемся режиме / Е. М. Акатов, П. М. Белов, Н. Х. Дьяченко, В. С. Мусатов. — М.: Машиз, 1960. — 282 с. — Текст: непосредственный.*
14. *Правила ЕЭК ООН № 101. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей, приводимых в движение только двигателем внутреннего сгорания либо приводимых в движение при помощи гибридного электропривода, в отношении измерения объема выбросов двуоксида углерода и расхода топлива и/или измерения расхода электроэнергии и запаса хода на электротяге, а также транспортных средств категорий M1 и N1, приводимых в движение только при помощи электропривода, в отношении измерения расхода электроэнергии и запаса хода на электротяге: официальное издание: утверждены и введены в действие Постановлением Госстандарта России от 26 мая 1999г. № 184. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2001 год. — Текст: электронный.*
15. *REGULATIONS COMMISSION REGULATION (EU) 2016/646 amending Regulation (EC) No 692/2008 as regards emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 6) [Электронный ресурс] / Official Journal of the European Communities. — Strasbourg, 20.04.2016. - 22 P., — Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0646&from=EN>.*
16. *Гутаревич, Ю. Ф. Снижение вредных выбросов автомобилей в эксплуатационных условиях / Ю. Ф. Гутаревич. — К.: Высшая Школа, 1991. — 178 с. — Текст: непосредственный.*