

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

А. Р. КУЛЬЧИЦКИЙ

ТОКСИЧНОСТЬ ПОРШНЕВЫХ ДВС.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ
ДВИГАТЕЛЕЙ

Учебное пособие



Владимир 2011

УДК [621.43+ 662.6] (075.8)

ББК 31.365я73

К90

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор
зав. кафедрой теплотехники и тепловых двигателей
Российского университета дружбы народов
С. В. Гусаков

Доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники
Московского государственного технического университета
им. Н. Э. Баумана
В. А. Марков

Печатается по решению редакционного совета
Владимирского государственного университета

Кульчицкий, А.Р.

К90 Токсичность поршневых ДВС. Экспериментальная оценка
экологического уровня двигателей : учеб. пособие / А. Р. Куль-
чицкий ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос.
ун-та, 2011. – 116 с. – ISBN 978-5-9984-0131-2.

Приведена информация о методах и средствах определения и оценке соответствия требованиям нормативно-технической документации экологического уровня двигателей внутреннего сгорания.

Предназначено для студентов специальности 140501 – Двигатели внутреннего сгорания направления 140500 – Энергомашиностроение, а также специальностей 190601 – Автомобили и автомобильное хозяйство, 330200 – Инженерная защита окружающей среды (автотранспортный комплекс). Может быть полезно научным и техническим специалистам, занимающимся вопросами эксплуатации и сертификации различных типов энергоустановок и транспорта.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения.

Табл. 5. Ил. 49. Библиогр.: 15 назв.

УДК [621.43+ 662.6] (075.8)

ББК 31.365я73

ISBN 978-5-9984-0131-2

© Владимирский государственный
университет, 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

Поршневые двигатели внутреннего сгорания (ДВС) используются в качестве источника энергии и тепла как в транспортных средствах, так и в составе стационарных установок. Образование вредных веществ в ДВС – это естественный результат процесса сгорания топлива и смазочного масла. Поэтому широкое применение ДВС влечет за собой и повышенное внимание к ним как участникам процесса загрязнения окружающей среды вследствие выброса вредных веществ с отработавшими газами в атмосферу.

Уровень токсичности отработавших газов ДВС оценивается на основании результатов их испытаний по строго оговоренным в международных и национальных стандартах методикам. При этом стандарты учитывают область применения объектов, на которые устанавливаются двигатели, тип транспортного средства, уровень мощности двигателя, используемое топливо, состояние окружающей среды, методы и средства измерения различных параметров и многое другое. Только строгое соблюдение стандартов является залогом достоверного определения экологического уровня ДВС.

Все замечания и предложения по изложению материала просьба направлять автору на адрес электронной почты **ark6975@mail.ru**.

ВВЕДЕНИЕ

Стандартизация методов оценки экологического уровня различных объектов (как самоходных, так и стационарных), в которых в качестве источника механической энергии (а иногда и тепла) используются поршневые двигатели внутреннего сгорания, была начата в 60-х гг. XX века. До этого об уровне загрязнения окружающей среды судили только по степени черноты отработавших газов, выбрасываемых из выхлопной трубы автомобилей или самого двигателя. При этом не уделялось должного внимания единству требований в части режимов работы ДВС в ходе оценки их экологического состояния, методам и средствам измерения содержания вредных веществ в отработавших газах, применяемым топливам и смазочным маслам, состоянию окружающей среды, методикам расчета конечных результатов.

С середины 80-х гг. XX века проблема загрязнения окружающей среды продуктами сгорания топлива и смазочного масла встала в один ряд с другими глобальными проблемами, такими, например, как нехватка продовольствия и пресной воды. В связи с чем требования к уровню выбросов вредных веществ с отработавшими газами в атмосферу постоянно пересматриваются в сторону их ужесточения.

Глава 1. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ И ТОКСИЧНОСТЬ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

§ 1. Режимы работы и характеристики ДВС

Нагрузка и частота вращения коленчатого вала ♦ Основные термины

♦ Стандартные и нормальные условия ♦ Виды характеристик

♦ Установившийся и переходный режимы

Работа – это преодоление внешнего сопротивления; соответственно ДВС обеспечивает преодоление внешнего сопротивления (*нагрузки*), совершая при этом *эффективную* работу. В отличие от последней *индикаторная* работа тратится на преодоление внутреннего сопротивления, обусловленного трением движущихся деталей двигателя, а также движением потоков воздуха, топливовоздушной смеси и продуктов сгорания.

Характер работы объектов различен: для одних важно поддержание постоянства частоты рабочих циклов по времени (генераторы, насосы, компрессоры), для других главным является преодоление сопротивления независимо от частоты циклов (все виды транспортных средств).

Сочетание нагрузки и частоты рабочих циклов (частоты вращения коленчатого вала) называется режимом работы двигателя, а совокупность различных режимов работы ДВС – характеристикой двигателя. Понятие “нагрузка” носит качественный характер, объединяющий понятия “мощность” и “крутящий момент”, которые при количественных измерениях различаются.

Поскольку характер работы объектов различен, то и характеристики ДВС также различны: при постоянстве частоты вращения коленчатого вала и изменении нагрузки мы имеем дело с *нагрузочной* характеристикой, в противном случае – со *скоростной*, при изменении обоих параметров – с *регуляторной* или *многопараметровой*, при изменении какого-либо регулировочного параметра – с *регулирующей* характеристикой.

Одними из наиболее распространенных характеристик, дающими достаточно полное представление о техническом уровне двигателя, являются скоростные характеристики: предельная или абсолютная (ПСХ или АСХ), внешняя (ВСХ) и частичная (ЧСХ).

АСХ – это совокупность режимов работы двигателя, которые определяются снижением мощности на каждом скоростном режиме, несмотря на увеличение подачи топлива.

Подобная ситуация соответствует условиям, при которых увеличение подачи топлива не сопровождается соответствующим увеличением тепловыделения в связи с ухудшением условий смесеобразования и горения (рис. 1.1 [1]).

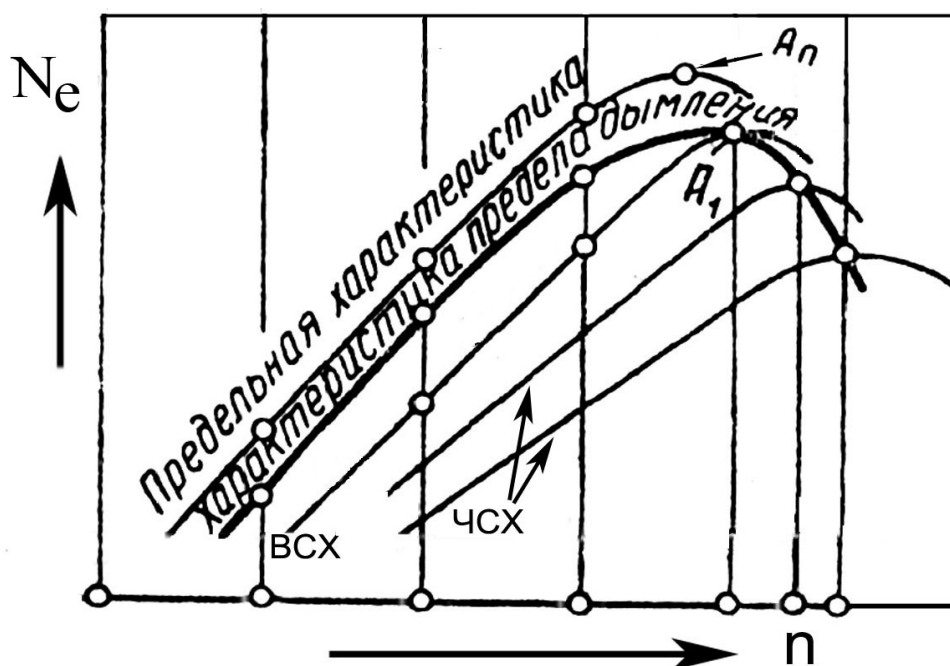


Рис. 1.1. Скоростные характеристики дизеля. Обозначения: N_e – мощность, A_n и A_1 – характерные точки, соответствующие моментам снижения мощности

На приведенном рис. 1.1 точка A_n на кривой *предельной характеристики* соответствует моменту снижения мощности, несмотря на увеличение подачи топлива относительно точек, лежащих левее на этой кривой. Характеристика *предела дымления* лежит ниже предельной характеристики, поэтому для скоростного режима, соответствующего

ющего точке A_n , значение мощности не является наибольшим; падение мощности происходит при большей частоте вращения коленчатого вала (точка A_1). Ниже характеристики предела дымления лежат ВСХ и ЧСХ.

До 70-х гг. XX века характеристика *предела дымления* определялась без каких-либо нормативных требований к уровню дымности отработавших газов (ОГ) (рис. 1.2 [1]).

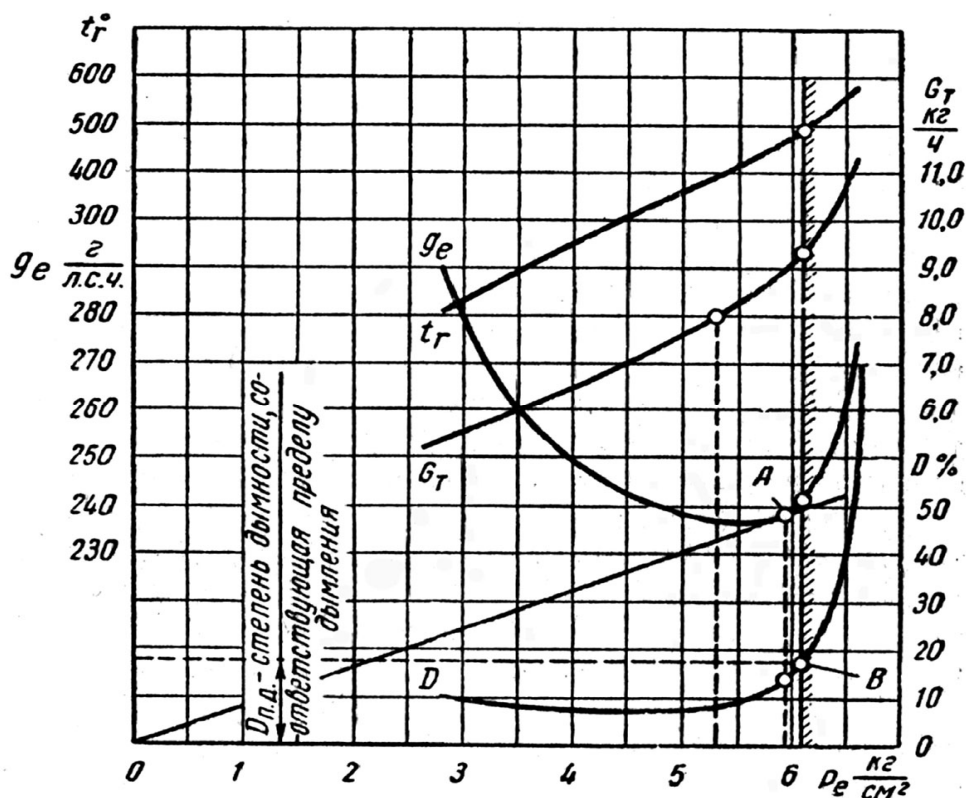


Рис. 1.2. Установка характеристики предела дымления дизеля. Обозначения: D – степень непрозрачности ОГ; t_r , G_T и g_e – температура ОГ, часовой и удельный эффективный расходы топлива; p_e – среднее эффективное давление; A и B – p_e максимальное (определенное графически – по касательной) и соответствующее пределу дымления

Дымность ОГ в основном зависит от величины концентрации сажи в отработавших газах (что визуально оценивается по степени черноты ОГ), хотя непрозрачность ОГ может быть связана даже с повышенной концентрацией паров воды в ОГ. Таким образом, выбор характеристики предела дымления ограничивал нагрузку на двигатель

условием достижения некоторой степени непрозрачности ОГ. Однако данное понятие является чисто качественным, поскольку не оговаривает количественно предельную степень непрозрачности, а соответственно и допустимую нагрузку на двигатель (рис. 1.3 [1]).

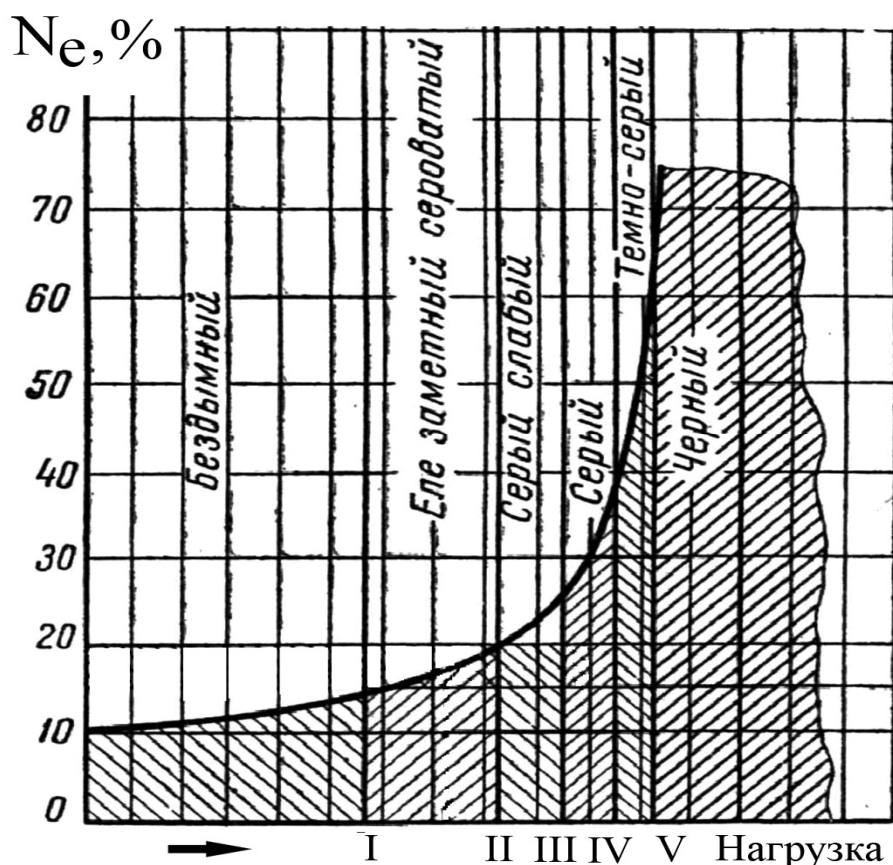


Рис. 1.3. Соотнесение количественного значения дымности отработавших газов с качественной оценкой цвета столба отработавших газов дизельного двигателя в зависимости от нагрузки. Обозначения: I, II, III, IV и V – границы характерных зон

Здесь в зависимости от нагрузки приведена качественная характеристика цвета столба ОГ:

- зона 0 – I – *бездымный* (приблизительно до уровня 17,5 % дымности по шкале *Hartridge*);
- зона I – II – *еле заметный сероватый* (приблизительно от 17,5 до 20 %);
- зона II – III – *серый слабый* (приблизительно от 20 до 26 %);
- зона III – IV – *серый* (приблизительно от 26 до 40 %);

- зона IV – V – *темно-серый* (приблизительно от 40 до 60 %);
- зона от V и далее – *черный цвет* (приблизительно свыше 60 %).

Однако появление стандартов на уровень дымности ОГ дизелей позволило перейти от неопределенного понятия “предел дымления” к однозначной количественной оценке – *уровню дымности ОГ*, который сопоставляется с *нормой дымности ОГ*.

Нормы дымности отработавших газов не являются раз и навсегда заданными: периодически они пересматриваются в сторону ужесточения. Наряду со стандартами на дымность ОГ существуют стандарты на выброс вредных веществ (ВВ) с отработавшими газами, которые вносят существенные коррективы в формирование ВСХ.

Но понятие ВСХ можно относить только к конкретной комплектации ДВС: установив на двигатель, например турбокомпрессор с другой расходной характеристикой, можно получить иное протекание ВСХ. При этом если требуется двигатель с меньшей форсировкой по крутящему моменту, то ЧСХ становится ВСХ (при неизменной конструкции двигателя).

Внешняя скоростная характеристика – это зависимость ряда показателей двигателя от частоты вращения коленчатого вала при полной подаче топлива, что обеспечивается регулировками топливоподающей аппаратуры.

Характерными точками на кривой ВСХ являются режимы максимальных оборотов холостого хода, номинальной мощности и максимального крутящего момента (и соответствующих частот вращения коленчатого вала), минимально устойчивых оборотов холостого хода, пусковых оборотов коленчатого вала.

Номинальная мощность $N_{e \text{ ном}}$ (Rated power) – это назначаемая предприятием-изготовителем эффективная мощность двигателя при номинальной частоте вращения коленчатого вала, полной подаче топлива, стандартных атмосферных условиях, температуре и плотности топлива. Указанная мощность определяется в ходе испытаний двига-

теля на моторном стенде. При этом двигатель должен быть без вентилятора, воздухоочистителя, глушителей шума впуска и выпуска, средств нейтрализации ВВ, а также без оборудования, потребляющего мощность двигателя, но его не обслуживающего (например, воздушного компрессора, гидронасоса, отопителя кабины и т. п.).

Эксплуатационная мощность отличается от номинальной тем, что двигатель при испытаниях должен быть укомплектован всем оборудованием, его обслуживающим; оборудование, которое не обслуживает двигатель, должно быть отключено или работать без нагрузки. Таким образом, численное значение эксплуатационной мощности всегда меньше соответствующего значения номинальной мощности. Основные потери мощности определяются механическими потерями на привод вентилятора системы охлаждения, сопротивлениями движению потока воздуха (или топливовоздушной смеси) во впускном трубопроводе и потока ОГ в выпускном трубопроводе двигателя. Наиболее вероятное снижение эксплуатационной мощности относительно номинальной составляет 5...8 %.

Номинальная частота вращения коленчатого вала (Rated speed) $n_{\text{ном}}$ – частота вращения коленчатого вала, при которой предприятием-изготовителем *назначаются* номинальная и эксплуатационная мощности.

Максимальный крутящий момент $M_{\text{к max}}$ – наибольшее значение крутящего момента, *назначаемое* предприятием-изготовителем, достигаемое при работе двигателя по внешней скоростной характеристике. Указанный момент должен достигаться в определенном диапазоне частоты вращения коленчатого вала, что также назначается предприятием-изготовителем.

Максимальные обороты холостого хода $n_{\text{xx max}}$. Эта величина устанавливается исходя из характеристик объекта, для которого предназначен двигатель. Значение $n_{\text{xx max}}$ составляет обычно 1,03 от $n_{\text{ном}}$ для ДВС, работающих в составе генераторных установок по выработке электроэнергии, для прочих ДВС – 1,08...1,1 от $n_{\text{ном}}$. Данная величина устанавливается с целью предотвращения избыточного повышения частоты вращения коленчатого вала, которая обеспечивает требуемые характеристики двигателя и объекта в целом. На данном режиме расход топлива обеспечивает только преодоление сил внутреннего сопротивления; эффективная мощность при этом равна нулю.

Минимально устойчивые обороты холостого хода $n_{xx \min}$. Значение $n_{xx \min}$ составляет обычно 800 ± 50 об/мин для дизелей и 1100 ± 50 об/мин для двигателей с принудительным воспламенением. На этом режиме расход топлива обеспечивает только преодоление сил внутреннего сопротивления; эффективная мощность при этом равна нулю.

Пусковые обороты коленчатого вала $n_{п}$ – минимальная частота вращения коленчатого вала, при которой в цилиндре двигателя обеспечивается температура воздушного заряда или рабочей смеси, достаточные для самовоспламенения или воспламенения смеси. Значение $n_{п}$ составляет обычно 200 ± 50 об/мин для дизелей и 60 ± 20 об/мин для двигателей с принудительным воспламенением.

Значения $N_{e \text{ ном}}$ и $M_{к \text{ max}}$, а также соответствующие им значения скоростных режимов определяются производителями объектов, на которые двигатели устанавливаются: транспортных средств, тракторов, самоходной сельскохозяйственной техники, железнодорожных локомотивов, речных и морских судов, воздушных судов, генераторов, воздушных компрессоров, насосных станций и т. п. В связи с этим одна и та же модель двигателя может иметь различные уровни *форсирования* по скоростному режиму и среднему эффективному давлению, что определяет такие удельные показатели, как литровая (кВт/л), поршневая (кВт/см²), цилиндровая (кВт/цил.), удельная (кВт/кг) мощности двигателя и т. п.

Основными параметрами, характеризующими уровень форсирования двигателя, являются номинальная и эксплуатационная мощности, а также соответствующие значения максимального крутящего момента. Однако их значения зависят от внешних условий, при которых производилось определение: атмосферного давления, окружающей температуры и относительной влажности окружающего воздуха. Поэтому для обеспечения единства измерений значения вышеуказанных параметров двигателей приводятся к строго оговоренным (в стандартах на испытания двигателей) значениям, т. е. к стандартным значениям окружающей среды. При этом в разных стандартах значения трех основных параметров окружающей среды различны: барометрическое давление – от 736 до 760 мм рт. ст. (т. е. от 98,1 до 101,3 кПа), окружающая температура – от 20 до 29,4 °С (293...302,9 К), относительная

влажность – от 40 до 60 %. Также различны и методики приведения измеренных значений к стандартным условиям.

Значения номинальной и эксплуатационной мощностей, а также максимального крутящего момента определяются при стандартных атмосферных условиях.

Стандартные атмосферные условия следует отличать от нормальных атмосферных условий, соответствующих температуре окружающего воздуха 0 °С (273 К) и атмосферному давлению 760 мм рт. ст. (1,0332 кг/см²). Уровень относительной влажности для нормальных условий не оговаривается.

Кроме вышеперечисленных номинальной и эксплуатационной мощностей (согласно ГОСТ 18509-88 “Двигатели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний”) аналогичными параметрами являются соответственно мощности брутто и нетто (ГОСТ 14846-81 “Двигатели автомобильные. Общие технические требования”). В международной практике применяется понятие “полезной мощности”, или “мощности *gross*” (международный стандарт ISO 15550 “Двигатели внутреннего сгорания. Метод измерения мощности. Общие требования”), которая близка по значению к номинальной мощности. Существуют также понятия (согласно ГОСТ Р 3046-2001 “ДВС поршневые”, распространяющемуся на судовые, тепловозные и промышленные двигатели) длительной мощности, мощности перегрузки, мощности на упоре рейки топливного насоса, тормозные мощности с зависимым существенным и несущественным оборудованием и др.

В связи с чем уровень суммарных потерь мощности, получаемой в цилиндре двигателя (индикаторной), доводимой до потребителя, может превысить 30 % (рис. 1.4).

Сравнение численных значений удельного расхода топлива (т. е. уровня экономичности) различных двигателей должно производиться для идентичных значений мощностей, полученных при одинаковых условиях.

Если значения частоты вращения коленчатого вала и нагрузки не изменяются в пределах допустимого уровня отклонения в течение процесса измерения, то в этом случае режим называется *установившимся*. В реальных условиях оба этих параметра могут изменяться в

достаточно широких пределах в течение небольшого промежутка времени. В этом случае режим называется *неустановившимся*, или *переходным*. Характерными примерами переходных режимов являются *режим свободного ускорения* и *режим наброса нагрузки* (рис. 1.5).

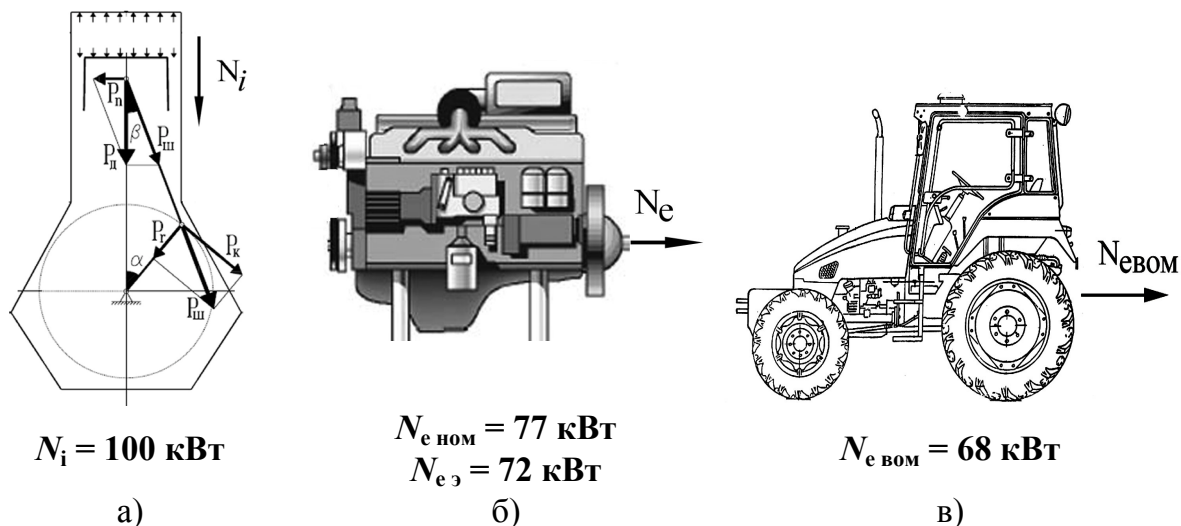


Рис. 1.4. Потери мощности. Обозначения: P_i – силы, действующие в цилиндре ДВС и кривошипно-шатунном механизме; N_i (а); $N_{e \text{ ном}}$, $N_{e \text{ э}}$ (б) и $N_{e \text{ вом}}$ (в) – мощности индикаторная, эффективные номинальная, эксплуатационная и на выходе с вала отбора мощности (ВОМ) трактора

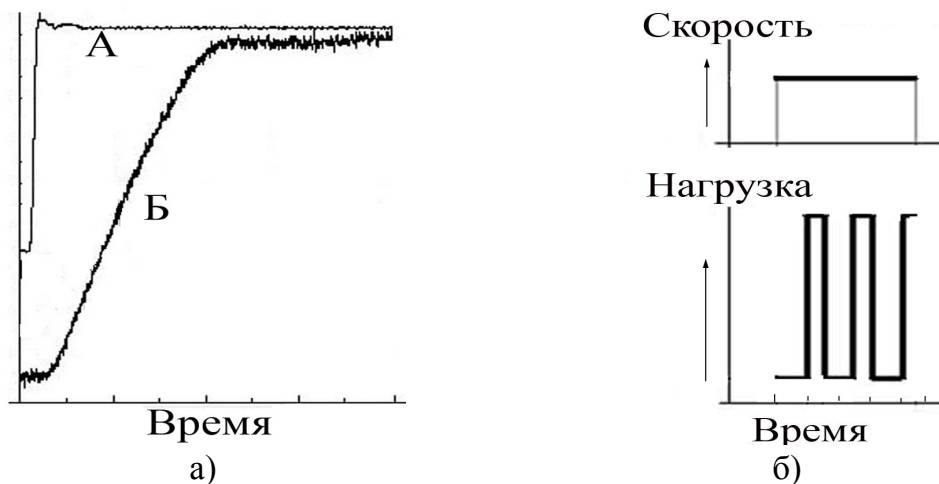


Рис. 1.5. Неустановившиеся (переходные) режимы: а – свободного ускорения и б – наброса нагрузки. Обозначения: А – перемещение устройства, изменяющего подачу топлива (или топливовоздушной смеси), Б – изменение частоты вращения коленчатого вала двигателя

В первом случае происходит изменение частоты вращения коленчатого вала от минимально устойчивых оборотов холостого хода до максимальных оборотов холостого хода при постоянстве нагрузки,

причем в данном случае нагрузка нулевая (эффективная мощность равна нулю, но индикаторная не равна нулю, поскольку внутренние сопротивления в двигателе не исчезают). При реализации *режима наброса нагрузки* обеспечивается увеличение момента сопротивления при поддержании постоянства скоростного режима.

§ 2. Влияние режима работы ДВС на выброс вредных веществ с отработавшими газами в атмосферу

*Характер движения ♦ Тип транспорта ♦ Вид дорог
♦ Метеорологические условия ♦ Техническое состояние
♦ Зона влияния транспорта*

В реальных условиях эксплуатации транспортных средств реализуются самые различные режимы работы двигателя:

- холостой ход (периоды прогрева двигателя и остановки на светофорах);
- разгон (т. е. ускорение – неустановившийся режим, характеризующийся изменением как частоты вращения коленчатого вала, так и нагрузки);
- установившиеся режимы (движение без изменения частоты вращения коленчатого вала и количества подаваемого топлива);
- торможение (неустановившийся режим, характеризующийся снижением частоты вращения коленчатого вала вследствие увеличения нагрузки – сопротивления движению).

Во всех перечисленных случаях происходит изменение характера протекания рабочего процесса двигателя: меняются количество подаваемого топлива, соотношение “топливо – окислитель”, абсолютное время, отводимое на процесс сгорания, меняется состояние воздушного заряда. Последнее особенно характерно для ДВС с наддувом. В результате меняется количество образующихся вредных веществ и уровень их содержания в ОГ (табл. 1.1).

И как следствие – изменяется содержание ВВ в атмосфере, в первую очередь в прилегающих к транспортным магистралям зонах и территориях, причем эффект наблюдается на расстоянии до 100 м (прил. 1).

Режим движения автомобильного транспорта зависит от множества факторов: плотности транспортного потока, развитости транс-

портной сети, особенностей климата региона и рельефа конкретного населенного пункта, времени суток и года, метеорологических условий, дорожных знаков и дорожной разметки (рис. 1.6...1.8).

Таблица 1.1

Влияние режима движения автомобильного транспорта на эмиссию вредных веществ с отработавшими газами

Режим работы ДВС	Доля режимов, %			Доля эмиссии, %		
	по времени	по объемам ОГ	по расходу топлива	СО	СН	NO _x
Холостой ход	39,5	10	15	13...25	15...18	-
Разгон	18,5	45	35	29...32	27...30	75...86
Установившееся движение	29,2	40	37	32...43	19...35	13...23
Торможение	12,8	5	13	10...13	23...32	0...1,5

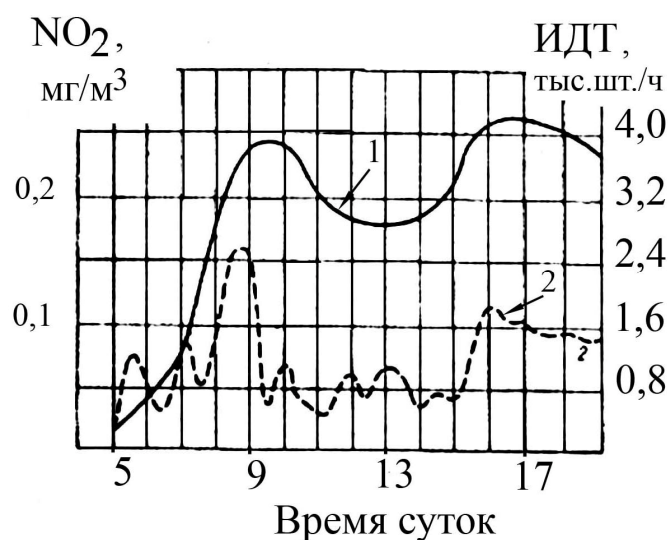


Рис. 1.6. Изменение: 1 – интенсивности движения транспорта (ИДТ) и 2 – содержания диоксида азота NO₂ в воздухе магистрали по времени суток [9]

Свое влияние вносят также состояние дорожного покрытия, расположение автозаправочных станций, пунктов технического обслуживания. Не последнюю роль играет стиль вождения автомобиля, что определяется не только техническими навыками, но и общей культурой водителей. Соответственно в разных странах и городах один и тот же автомобиль будет двигаться в разных условиях и на

разных режимах (и выбрасывать в окружающую среду разное количество вредных веществ).

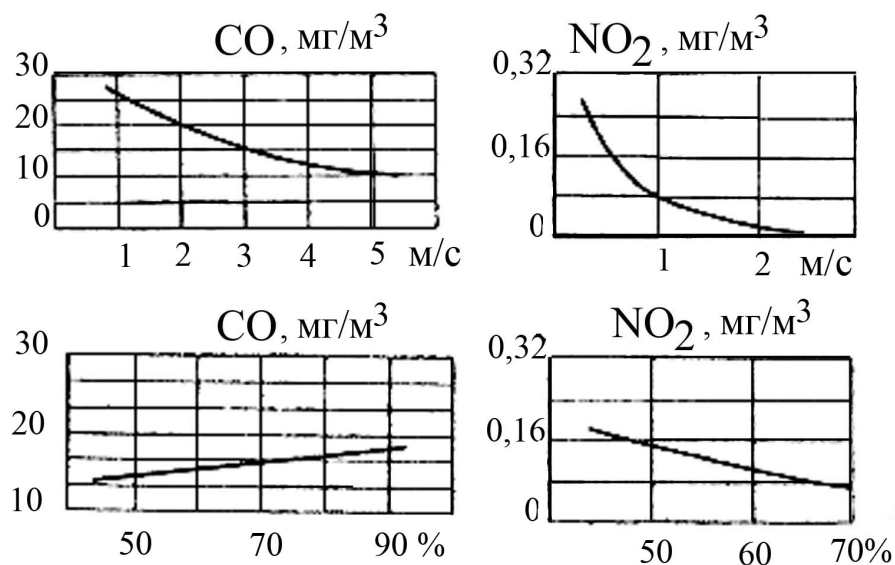


Рис. 1.7. Изменение содержания диоксида азота NO_2 и оксида углерода CO в воздухе магистрали в зависимости от скорости ветра (м/с) и относительной влажности (%) [9]

Подобное различие хорошо видно по результатам режимометрирования, проведенного в различных условиях: для различного вида

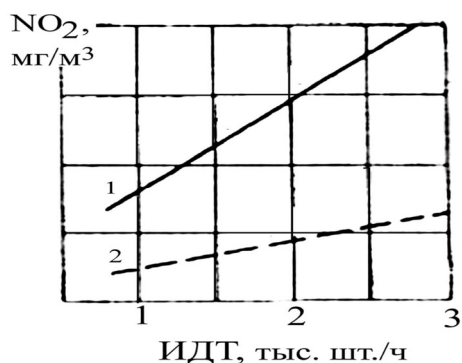


Рис. 1.8. Зависимость содержания диоксида азота NO_2 в воздухе магистрали от интенсивности движения транспорта (ИДТ) и скорости ветра. Обозначения: скорость ветра 1 – до 1,5 м/с, 2 – 1,5...2,5 м/с [9]

транспортных средств, разных дорог, различного характера движения (рис. 1.9...1.11).

При этом необходимо учесть, что из года в год в связи с увеличением количества транспорта увеличивается и суммарный пробег, соответственно будет возрастать количество выбрасываемых в окружающую среду вредных веществ. В качестве примера взяты данные о пробеге транспортных средств в Германии за период с 1950 г. (рис. 1.12 ... 1.13), а также данные о выбросах вредных веществ автомобилями в Москве (рис. 1.14).

веществ автомобилями в Москве (рис. 1.14).

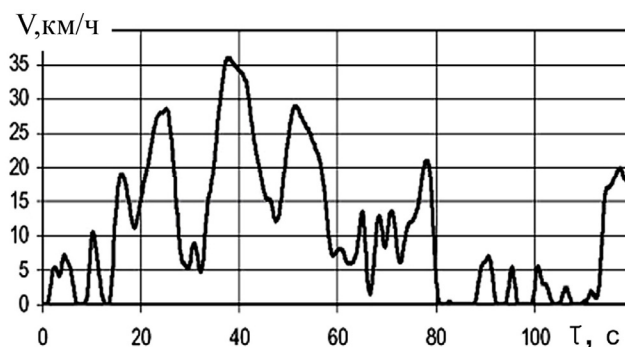


Рис. 1.9. Характер движения транспорта в Мадриде (Испания)

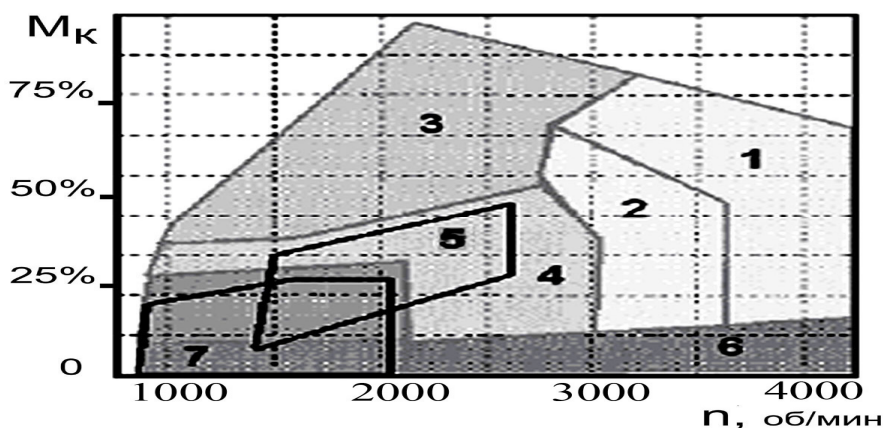


Рис. 1.10. Зависимость режима работы двигателя от характера движения транспортного средства. Обозначения: 1 – свободная магистраль, 2 – магистраль с плотным движением, 3 – ускорение или движение вверх по склону, 4, 5 и 7 – движение в городе с малой, средней и высокой плотностью потоков транспорта, 6 – движение вниз по склону

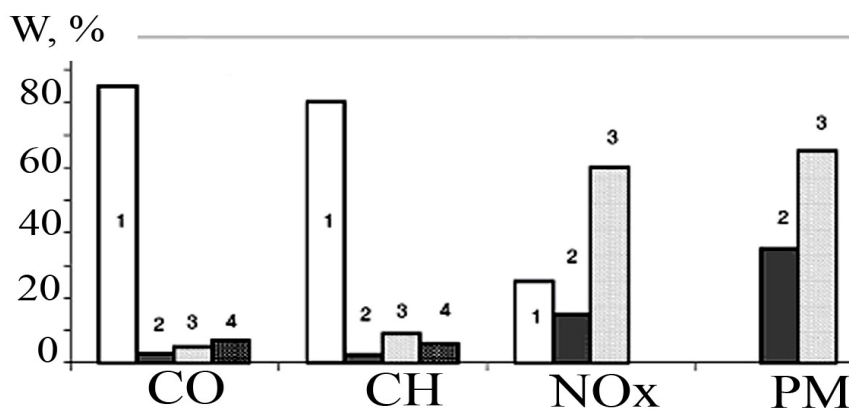


Рис. 1.11. Долевой вклад вида транспорта в выброс вредных веществ. Обозначение: 1 и 2 – автомобили полной массой не более 3,5 т (бензиновые и дизельные соответственно), 3 – автомобили полной массой свыше 3,5 т и автобусы, 4 – мотоциклы

Несмотря на постоянное развитие транспортных сетей, численность транспортных средств идет опережающими темпами. Подтверждением этого являются постоянные (многочасовые и многокилометровые) “пробки” на магистралях. И хотя технические характеристики автомобилей (в том числе динамические качества) постоянно совершенствуются, средняя скорость в городах за последние 50 лет не изменилась: в Мадриде в начале 2000-х гг. была 10...20 км/ч (см. рис. 1.9), что мало отличается от данных по Москве на конец 1950-х гг. – 15...30 км/ч [7].

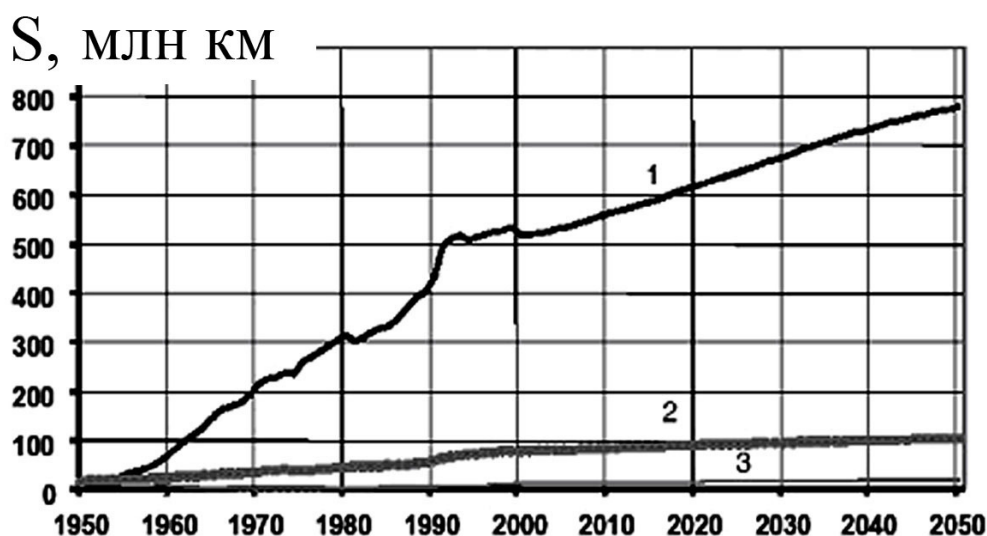


Рис. 1.12. Пробег транспорта в Германии в целом по стране (существующий и ожидаемый). Обозначения: 1 – легковые автомобили, 2 – грузовые автомобили, 3 – мотоциклы

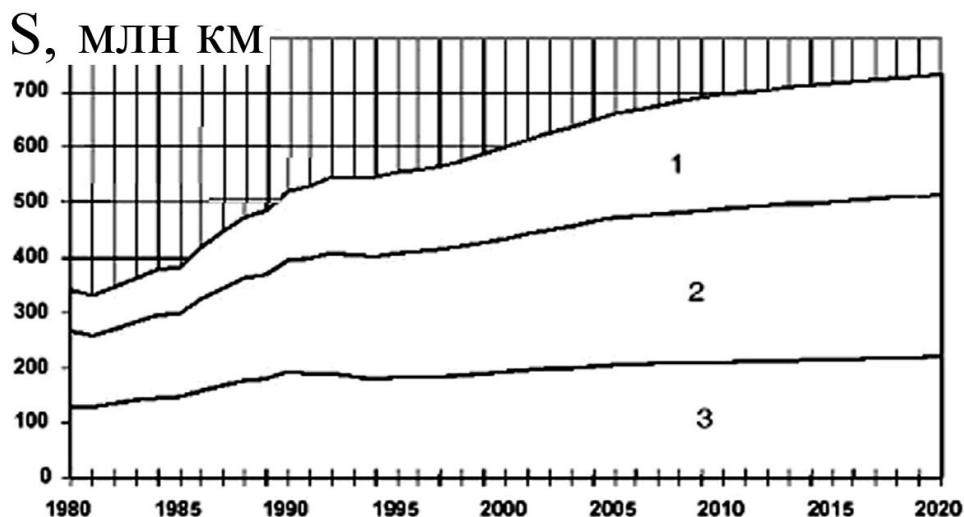


Рис. 1.13. Пробег легковых автомобилей по разным дорогам в Германии (существующий и ожидаемый). Обозначения: 1 – магистрали, 2 – загородные дороги, 3 – городские дороги

Существенное влияние на выброс ВВ оказывает техническое состояние транспортного средства, и в первую очередь двигателя: регулировка (то есть отклонение регулировок от требуемых согласно технической документации) отдельных агрегатов может увеличивать выбросы ВВ в разы (табл. 1.2).

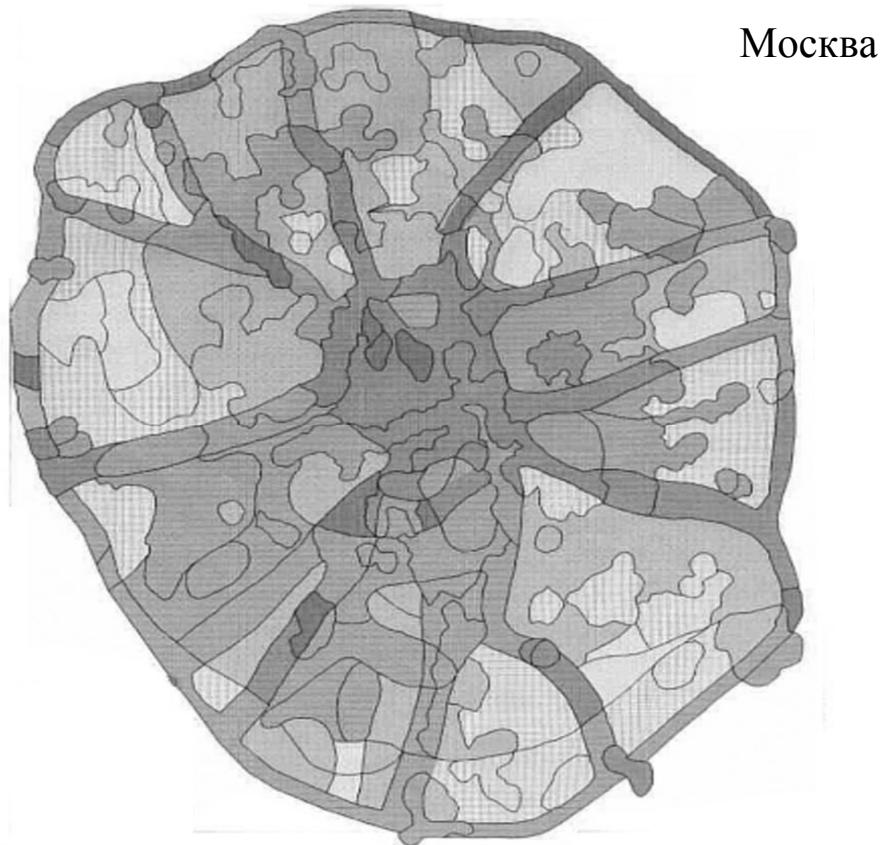


Рис. 1.14. Плотность выброса вредных веществ от автомобильного транспорта (АТ) в Москве [11]. *Примечание.* Чем темнее штриховка, тем выше плотность выброса

В окружающую среду поступают не только газообразные ВВ и дисперсные частицы – продукты сгорания топлива и масла в двигателе. В результате истирания покрышек в почву вблизи автомобильных дорог поступают такие металлы, как алюминий, кобальт, медь, железо, марганец, свинец, никель, фосфор, титан, цинк и прочие элементы. Подшипники, вкладыши, тормозные масла – источники поступления в окружающую среду меди и цинка; кадмий поступает в природную среду в результате износа шин и асфальтобетона; никель и хром –

продукты износа покрытий кузова. Это определяет загрязненность воздуха и в зоне самих магистралей, и в зданиях, расположенных вдоль транспортных дорог, и в почве прилегающих территорий, и как результат всего – вредное воздействие на здоровье человека и всех прочих живых организмов (табл. 1.3).

Таблица 1.2

Влияние отклонений режимных параметров ДВС на пробеговые выбросы вредных веществ в условиях городской езды [4]

Вид отклонения	Изменение пробеговых выбросов, %			
	СО	C _n H _m	NO _x	Дымность ОГ
Двигатели с искровым зажиганием				
Разрегулировка карбюратора	+100...+300	+10...+100	- 5 ... - 25	-
Изменение угла опережения зажигания	+10...+50	+50...+300	-50...+100	-
Неисправность свечей зажигания	-50...+50	+100...+900	+10...+50	-
Дизельные двигатели				
Разрегулировка топливного насоса	+5...+50	+5...+25	-25...+25	+50...+100
Изменение угла опережения впрыскивания топлива	+10...+50	+50...+300	-50...+100	-25...+50
Неисправность форсунок	-50...+50	+100...+900	+10...+50	-25...+25
Повышенное сопротивление на впуске-выпуске	-50...+50	+100...+900	+10...+50	0...+100

При этом следует учесть, что вред окружающей среде наносится не только в момент выброса ВВ из выхлопной трубы транспортного средства – все вредные вещества могут находиться в воздухе от нескольких минут до нескольких сот лет (прил. 2).

Таблица 1.3

**Воздействие на организм человека тяжелых металлов,
поступающих в окружающую среду в результате эксплуатации
транспорта [4]**

Вещество	Характер воздействия
Соединения свинца	Вызывают поражение нервной, кроветворной, иммунной, сердечно-сосудистой и других систем жизнедеятельности человека
Соединения кадмия	Пероральное и ингаляционное поступление кадмия приводит к изменениям в лимфе крови, кишечным кровотечениям, хроническим бронхитам, сухости слизистых оболочек, угнетению репродуктивной функции и провоцирует рак репродуктивных органов. Накопление идет в костной ткани до 40-летнего возраста, также накапливается в печени. Период полувыведения из организма – 10 и более лет
Оксиды железа	Вызывают рак легких, цирроз печени, гепатит
Соли кобальта	Угнетают работу желез внутренней секреции
Соли никеля	Действуют сходно с соединениями кадмия

Контрольные вопросы

1. Понятия “режим работы” и “характеристика двигателя”.
2. Виды характеристик двигателя.
3. Различие между абсолютной, внешней и частичной скоростными характеристиками.
4. Характеристика предела дымления: понятие и принцип назначения.
5. Характерные режимы внешней скоростной характеристики.
6. Промежуточный скоростной режим: понятие и принцип назначения.
7. Стандартные и нормальные атмосферные условия.
8. Виды мощности двигателя и их различие.
9. Установившиеся и переходные режимы.
10. Режимы свободного ускорения и наброса нагрузки.
11. Влияние режима работы двигателя и транспортного средства на выброс вредных веществ в атмосферу.

12. Влияние внешних факторов на выброс вредных веществ с отработавшими газами в атмосферу.

13. Зависимость режима работы двигателя от характера движения транспортного средства.

14. Влияние неисправности двигателя на выброс вредных веществ с отработавшими газами.

15. Источники поступления вредных веществ в атмосферу при эксплуатации транспорта.

Рекомендуемая литература к главе

1. ГОСТ 18509-88 “Двигатели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний”. – Взамен ГОСТ 18508-80. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 128 с.

2. ГОСТ 14846-81. “Двигатели автомобильные. Общие технические требования”. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 41 с.

3. ГОСТ Р 3046-2001. “ДВС поршневые. Характеристики. Ч. 7. Обозначение мощности двигателя”. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.

4. ДВС. Теория поршневых и комбинированных двигателей / под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М. : Машиностроение, 1983. – 376 с.

5. **Кавтарадзе, Д.Н.** Автомобильные дороги в экологических системах / Д.Н. Кавтарадзе [и др.]. – М. : ЧеРо, 1999. – 240 с. – ISBN 5-88711-106-2.

6. **Козлов, А.В.** Оценка выбросов вредных веществ автомобилями в условиях эксплуатации / А.В. Козлов // Автомобильная промышленность. – 1999. – №2. – С. 37 – 40.

Глава 2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ДВС

§ 1. Испытательные лаборатории и нормативная документация

Испытательные лаборатории, техническая компетентность

- ◆ Аккредитация, лицензирование, сертификация, декларация соответствия
- ◆ Стандарты, технический регламент
- ◆ Гармонизация, омологация, идентификация продукции
- ◆ Параметры нормирования
- ◆ Экологические классы автомобилей и классы мощности ДВС
- ◆ Периодичность изменения нормативов

1.1. Общие положения

В 1943 г. в Лос-Анджелесе (США) впервые отметили появление на улицах города смога; в декабре 1952 г. в Лондоне (Великобритания) также возник смог, в результате чего в течение двух недель погибло более 4000 человек. В 1963 г. в США был принят “Закон о чистом воздухе” – документ, ограничивающий выбросы в атмосферу вредных веществ с отходящими газами промышленных предприятий; в 1970 г. документ был дополнен аналогичными положениями, касающимися автотранспорта.

В настоящее время стандарты, регламентирующие содержание ВВ в отработавших газах транспортных средств и ДВС, приняты во многих странах. В России – это государственные стандарты (ГОСТ Р...), которые объединены в технические регламенты, например:

- специальный Технический регламент "О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ", согласно которому все транспортные средства делят на пять экологических классов (прил. 3);

- специальный Технический регламент “О безопасности тракторов, сельскохозяйственных машин и машин для лесного хозяйства” (прил. 4).

В ряде стран разработаны местные (локальные) стандарты. Например:

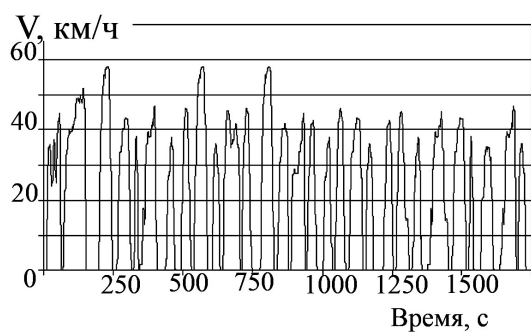
- унифицированный стандарт штата Калифорния (США) *California Unified Cycle – UC* (называемый также *Unified Cycle Driving*

Schedule – UCDS) для легковых автомобилей, оснащенных современными средствами снижения токсичности, отличающийся от федерального стандарта *FTP-75* регламентацией более высоких скоростей и ускорений, большим числом остановок на единицу пути и меньшим временем холостого режима;

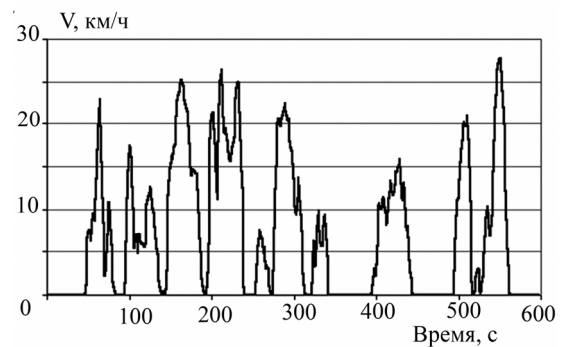
- стандарт г. Брауншвейга (Германия) “*Braunschweig Cycle*”, имитирующий условия движения автобуса в условиях этого города на переходных режимах (характеристика цикла: расстояние – 10,873 км, время – 1740 с, средняя скорость – 22,5 км/ч, максимальная скорость – 58,2 км/ч, доля режимов холостого хода – 25 %) (рис. 2.1, а);

- стандарт г. Нью-Йорка (США) *New-York City Cycle – NYCC*, имитирующий условия движения транспорта с пониженной скоростью с частыми остановками в этом городе (характеристика цикла: расстояние – 1,89 км, время – 598 с, средняя скорость – 11,4 км/ч, максимальная скорость – 44,6 км/ч) (рис. 2.1, б);

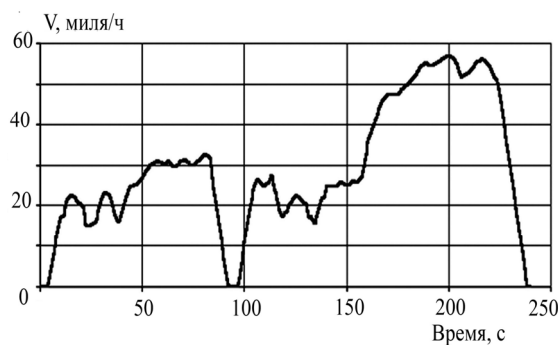
- цикл испытаний *IM240* легковых автомобилей в условиях эксплуатации, используемый в ряде штатов США (характеристика цикла: общее время – 240 с, расстояние – 1,9 км, средняя скорость – 47,3 км/ч, максимальная скорость – 91,2 км/ч) (рис. 2.1, в).



а)



б)



в)

Рис. 2.1. Испытательные циклы автотранспорта. Обозначения: а – *Braunschweig Cycle*, б – *New-York City Cycle*, в – *IM240*

Любая организация вправе проводить соответствующие испытания самостоятельно при наличии средств измерения. Но и пользоваться такими результатами может только сама организация: например, автотранспортные организации – при проверке транспортных средств во время технических осмотров или выпуска машин “на линию”, заводы, изготавливающие соответствующую продукцию, – при выпуске с конвейера или в ходе испытаний по программам периодических испытаний и авторского надзора. Достоверность результатов в подобных случаях зависит от типа используемого измерительного оборудования, его исправности и квалификации персонала.

Существуют организации, которым даны права проверять ДВС и транспортные средства, принадлежащие другим организациям или физическим лицам: органы МВД РФ, *испытательные лаборатории (центры)* – лаборатории, которые проводят испытания определенной продукции.

Получение *лицензии* (разрешения) на проведение оценки определенного перечня показателей какой-либо продукции возможно при условии *аккредитации* – процедуры, посредством которой уполномоченный в соответствии с законодательными актами Российской Федерации орган официально признает возможность выполнения испытательной лабораторией (центром) конкретных работ в заявленной области. Это означает подтверждение наличия в организации необходимого оборудования (в соответствии с требованиями используемой при испытаниях нормативно-технической документации), а также требуемого профессионального уровня специалистов, т.е. проводится подтверждение *технической компетентности* организации.

Деятельность по подтверждению соответствия продукции установленным требованиям называется *сертификацией*. Подтверждение соответствия технических характеристик типа автотранспортного средства какому-либо стандарту называется “одобрением типа” или *омологацией* (от франц. *Homologation* – утверждение; английский синоним – *approval*). Существует перечень продукции (услуг), который подлежит *обязательной сертификации*. Другие виды продукции (услуг) могут быть подвергнуты так называемой *добровольной сертификации*.

Основные цели и принципы сертификации следующие (выборочно):

- содействие потребителям в компетентном выборе продукции;
- содействие экспорту и повышению конкурентоспособности продукции;
- защита потребителя от недобросовестности изготовителя (продавца, исполнителя);
- контроль безопасности продукции для окружающей среды, здоровья и имущества;
- подтверждение показателей качества продукции, заявленной производителем.

Кроме того, по ряду продукции предприятиям-изготовителям разрешается не проводить сертификацию, а заполнять *декларацию соответствия*, согласно которой изготовитель гарантирует соответствие своей продукции определенным нормативным требованиям.

С целью обеспечения возможности сравнения между собой результатов испытаний, проведенных в разных странах, в мире идет процесс согласования (унификации, *гармонизации*) стандартов различных стран и организаций, и в перспективе следует ожидать единые стандарты для всего мира для одних и тех же объектов.

В настоящее время в мире применяются в основном такие стандарты, как:

- Правила ЕЭК ООН (*ECE – Economic Commissions for Europe – Европейская Экономическая Комиссия Организации Объединенных Наций*);
- Директивы ЕС (*EC – European Environmental Council – Совет Европы по защите окружающей среды*);
- стандарты *ISO (International Standards Organization – Международная организация по стандартизации)*;
- предписания *EPA (Environmental Protection Agency – Агентство по защите окружающей среды, США)*.

Сопоставление различных типов и марок ДВС и транспортных средств между собой по экологическим параметрам невозможно без принятия единых условий испытаний, т. е. без своеобразного «эталонного метра». Эту роль выполняют стандарты на методы испы-

таний и расчетов экологических показателей соответствующих объектов.

1.2. Структура стандартов

Идентификация. Перед испытаниями по оценке экологических показателей двигателей и АТС проводят их *идентификацию* – процедуру, которой устанавливают соответствие представленной на сертификацию продукции требованиям, предъявляемым к данному виду (типу) продукции (в нормативной и технической документации, в информации о продукции).

Идентификация двигателя начинается с анализа соответствия представленного образца требованиям конструкторской документации. На этом этапе проверяются следующие данные:

- тип рабочего процесса: тактность;
- тип системы охлаждения: воздушное, жидкостное, масляное, смешанное;
- рабочий объем цилиндра;
- способ подачи воздуха в цилиндры: свободный впуск или наддув;
- тип используемого топлива;
- форма камеры сгорания: с непосредственным впрыском или с предкамерным смесеобразованием; форма камеры сгорания в поршне;
- характеристика головки цилиндров: количество и размеры впускных и выпускных клапанов и каналов;
- система топливоподачи: тип топливного насоса высокого давления, конструкция и регулировки форсунок и распылителей, системы впрыска бензина;
- наличие и описание системы управления работой двигателя (электронная система управлением топливоподачей, газообменом и т. д.);
- прочие особенности двигателя, в том числе – наличие и характеристики системы обработки отработавших газов (нейтрализатор, противосажевый фильтр), системы рециркуляции ОГ и т. д.

Дальнейшие испытания непосредственно по определению экологического уровня объекта проводятся только при соответствии экс-

периментально определенных конструктивных и мощностно-экономических показателей заявляемым значениям.

Сами результаты испытаний могут быть не признаны, если не выполнены какие-либо требования, оговоренные в положении о таких испытаниях, например:

- если испытания проводились на топливе, характеристики которого не соответствуют требованиям НТД;

- окружающие условия при проведении испытаний вышли за оговариваемые в нормативно-технической документации границы (по значениям барометрического давления, окружающей температуре, относительной влажности воздуха);

- погрешность используемых средств измерения выше допустимого и т. д.

На следующем этапе (после идентификации) проводятся моторные испытания двигателя или АТС. Результаты определения мощностно-экономических и экологических показателей должны соответствовать заявленным (в “Технических условиях”, Декларации или рекламных проспектах).

Основные положения. Каждый нормативный документ оговаривает следующие основные положения:

- а) *область распространения*, т. е. какие объекты подпадают под действие данного документа: двигатели или транспортные средства, бензиновые, дизельные или использующие газообразное топливо, какой класс мощности или грузоподъемности (или вместимость пассажиров), предназначенные для перевозки грузов (пассажиров), сельскохозяйственного назначения, внедорожные машины, промышленные, стационарные, переносные и т. д. (см. прил. 4);

- б) *комплектация*, в которой проводят испытания, т. е. перечень агрегатов, какие должны обязательно быть в наличии, или же численные значения характеристик последних, чтобы можно было имитировать наличие необходимых агрегатов;

- в) *испытательный цикл*, т. е. сочетание нагрузки, частоты вращения коленчатого вала, времени выдержки на каждом режиме и времени перехода с режима на режим;

- г) *методика расчета* значений экологических показателей объекта испытаний;

д) *перечень и методы измерения* параметров, а также погрешность средств измерения;

е) *нормативные (предельные) значения* контролируемых параметров – перечень веществ, содержание которых в отработавших газах строго регламентируется. При этом учитывается *предмет оценки*: 1) экологический уровень *конструкции* ДВС и АТС, обеспечиваемый разработчиком и производителем или 2) *техническое состояние* ДВС и АТС в условиях эксплуатации, зависящее не только от конструкции, но и от правильности и своевременности ухода за объектом.

При проверке серийного производства нормативу должно соответствовать среднее значение по каждому из нормируемых параметров для выборки из нескольких двигателей.

ж) *сроки действия* документа и нормативных показателей.

Объект испытаний считается соответствующим требованиям какого-либо НТД при условии выполнения требований данного документа по всем нормируемым параметрам одновременно.

Только строгое выполнение требований нормативно-технической документации может дать основание говорить о достоверности оценки экологического уровня объекта испытаний.

Периодичность изменения норм в промышленно развитых странах составляет 3...4 года; изменения проводят, естественно, в сторону ужесточения. Но при этом каждая страна придерживается своей политики в данном направлении. Некоторые страны предпочитают автоматически вводить в действие стандарты Европы, США или Японии. Другие при сохранении единой методики испытаний с указанными странами предпочитают “отставать” от этих норм на несколько лет: в зависимости от технической готовности своих заводов по производству двигателей и автомобилей (Россия придерживается этого направления). Третьи не считают пока необходимым или возможным вводить вообще какие-либо ограничения на выброс вредных веществ с ОГ и дымность ОГ (рис. 2.2).

Что касается самих “законодателей моды” на экологический

уровень транспортных средств и двигателей – США, Европы, Японии, – то и у них есть свои национальные приоритеты. Например, США в секторе легковых автомобилей отдают предпочтение автомобилям, оснащенным бензиновыми двигателями, а в Европе уделяют много внимания переходу на дизельное топливо.



Рис. 2.2. Распространенность стандартов на экологический уровень дизелей внедорожной самоходной техники

Повышенное внимание к дизельному легковому автотранспорту в Европе базируется на следующих факторах:

- лучшая топливная экономичность по сравнению с бензиновыми автомобилями на 30...60 %;
- большая мощность при меньшей частоте вращения коленчатого вала;
- экологическая чистота за счет применения новых технологий, связанных с применением сгорания обедненных смесей при непосредственном впрыскивании топлива, противосажевых фильтров и нейтрализаторов;
- обеспечение меньшего выброса диоксида углерода как следствие лучшей экономичности.

Подобная ситуация оказала влияние на уровень устанавливаемых норм выбросов вредных веществ с ОГ в США и Европе (рис. 2.3).

В США нормы на выбросы оксидов азота и дисперсных частиц жестче, чем в Европе, поскольку на бензиновых ДВС это легче выполнить: N_{Ox} снижают за счет применения нейтрализаторов, а РМ для бензиновых автомобилей не нормируют.

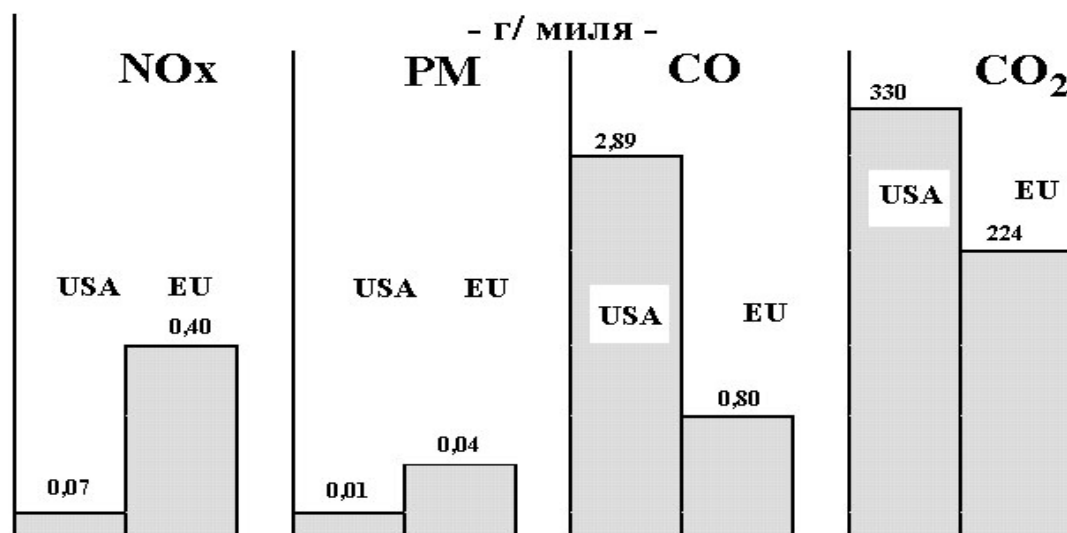


Рис. 2.3. Сравнение требований к экологическим показателям дизельных легковых автомобилей в США и Европе

В то же время в США нормы на выбросы оксида и диоксида углерода слабее, так как у бензиновых ДВС в связи с их худшей экономичностью выбросы этих веществ выше, чем у дизелей. Кроме того, в США предпочитают нормировать выбросы углеводородов (их в ОГ бензиновых ДВС больше, чем в ОГ дизелей) только как сумму “оксидов азота и углеводородов”. Таким образом, проблема повышенных выбросов суммарных углеводородов решается за счет обеспечения низких выбросов оксидов азота.

В зависимости от методики испытаний наименование и единицы обозначения норм могут быть:

- для ДВС: концентрация вредных веществ в процентах – миллион в минус первой степени ($млн^{-1}$ или ppm), удельный выброс вредных веществ – грамм на киловатт-час ($г/(кВт\cdotч)$); дымность ОГ – в процентах непрозрачности или единицах дымности;

- для транспортных средств: пробеговой выброс вредных веществ – грамм на километр ($г/км$) или грамм на испытание

(г/испытание) (в последнем случае оценивается суммарный выброс за весь цикл испытаний); дымность ОГ – в процентах непрозрачности или единицах дымности.

В технической литературе часто встречается единица измерения грамм на кубический метр (г/м^3). В этом случае для пересчета следует использовать переводной коэффициент $K_{\text{п}}$, ppm (см. таблицу):

$$K_{\text{п}} = 10^3 (22,4/\mu),$$

где μ – молекулярный вес вещества, г/моль.

Коэффициенты пересчета концентраций газов (из г/м^3 в ppm)

Вещество	Молекулярный вес μ , г/моль	Коэффициент пересчета $K_{\text{п}}$
Оксид азота NO	30	747
Диоксид азота NO ₂	46	487
Оксид углерода CO	28	800
Диоксид углерода CO ₂	44	509
Метан CH ₄	16	1400
Пропан C ₃ H ₈	44	509
Условный состав топлива C ₁ H ₁₈₅	13,85	1617
Диоксид серы SO ₂	64	350
Кислород O ₂	32	700

Примечание. Например, если концентрация NO₂ в ОГ 1,5 г/м^3 , то это соответствует: $1,5 \cdot 487 = 730,5$ ppm.

Среди ненормативных единиц измерения можно отметить *массовый выброс* индивидуального ВВ $G_{\text{ВВ}i}$ (г/ч), равный произведению концентрации вещества W_i (%) на часовой расход ОГ $G_{\text{ОГ}}$ (последний обычно приравнивается к расходу воздуха $G_{\text{В}}$).

Однако разные вредные вещества отличаются различной степенью воздействия на окружающую среду (в том числе и на человека). Постоянное воздействие ВВ на человека, животных и растения может привести к мутациям на генетическом уровне и резкому наследственному изменению организмов, меняющему их морфологические (внешнее и внутреннее строение) и/или физиолого-поведенческие признаки. Степень воздействия ВВ на живые организмы характеризу-

ется *относительной агрессивностью* R_i (за единицу принята агрессивность оксида углерода) [12]:

$$\begin{aligned} \text{CO} : \text{C}_n\text{H}_m : \text{SO}_x : \text{NO}_x : \text{C} : \text{RCHO} : \text{C}_{20}\text{H}_{12} = \\ = 1 : 3,16 : 16,5 : 41,1 : 41,1 : 41,5 : 12600000. \end{aligned}$$

Поэтому возможно использование такой величины, как суммарный массовый выброс ВВ G_Σ , равный сумме произведений $G_{\text{ВВ}i}$ на показатель относительной агрессивности R_i :

$$G_\Sigma = \Sigma R_i G_{\text{ВВ}i}.$$

Применяются также показатели выброса ВВ на единицу расхода топлива (отнесенные либо непосредственно к значению часового расхода топлива на каком-либо режиме, либо по результатам испытаний по многоступенчатому циклу; в последнем случае этот показатель носит название *нормированный*).

§ 2. Испытательные циклы по оценке выброса вредных веществ с отработавшими газами

Беговые барабаны ♦ Моторные стенды ♦ Экологический уровень конструкции и техническое состояние ♦ Установившиеся и переходные режимы ♦ Циклы испытаний ♦ Промежуточный скоростной режим ♦ Коэффициент весоности режима ♦ Единицы измерения ♦ Нормы выброса вредных веществ с отработавшими газами

Оценка экологического уровня транспортных средств и двигателей производится по показателям содержания (концентрации) в отработавших газах нормируемых вредных веществ либо – по показателям удельного (на единицу пути или единицу мощности) выброса нормируемых вредных веществ с отработавшими газами.

2.1. Транспортные средства

При определении экологических характеристик легковых автомобилей и легких грузовиков с полной массой до 3,5 т включительно и микроавтобусов испытания двигателей проводят *в составе автомобиля*. Но для определения экологического уровня конструкции применяют одни стандарты, а для определения *технического состояния* – другие.

При этом используют два принципиально различных метода испытаний:

- испытания *на установившихся режимах*, когда измерения проводят в условиях постоянства скоростного и нагрузочного режимов в течение периода измерения;

- испытания *на переходных режимах*, когда измерения проводят во время изменения нагрузки и/или скоростного режима.

Оценка технического состояния дизельных АТС с полной массой более 3,5 т производится только по параметру “дымность отработавших газов”; испытания проходят как на установившихся режимах, так и переходных.

Испытания АТС проводят по ездовым циклам, имитирующим режимы работы транспортного средства (и соответственно ДВС) в условиях реальной эксплуатации. Эти циклы могут быть реализованы как на беговых барабанах, так и на обычной трассе (рис. 2.4).

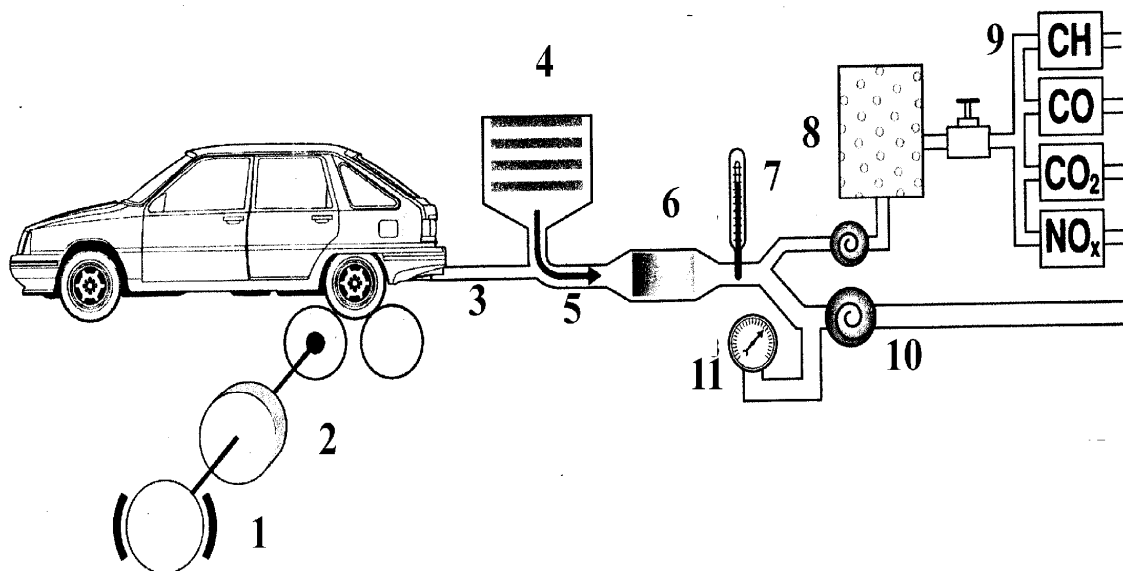


Рис. 2.4. Схема испытаний транспортного средства на беговых барабанах. Обозначения: 1 – тормоз, 2 – маховик, 3 – выхлопная труба, 4 – воздушный фильтр, 5 – подвод разбавляющего воздуха, 6 – охладитель, 7 – датчик температуры, 8 – ресивер, 9 – газоанализаторы, 10 – компрессор, 11 – датчик давления

Существует два различных подхода к подобным испытаниям. В США используют ездовые циклы, максимально приближенные к ре-

альным условиям эксплуатации, но они малоприменимы для условий других городов.

Например, цикл *FTP-75* – Federal Transient Procedure (США) отличается резкими изменениями нагрузки и скорости движения (рис. 2.5). Цикл состоит из трех участков:

- работа непрогретого двигателя на переменных режимах с резкими изменениями скоростей и нагрузок (первые 505 с);
- относительно стабильные режимы (505...1372 с). По окончании второго участка предусмотрена «остановка» автомобиля (в течение 600 с) с отключением стендового вентилятора обдува автомобиля воздухом и открытием капота;
- повторение первого участка, но уже с прогретым двигателем (1373 –1877 с).

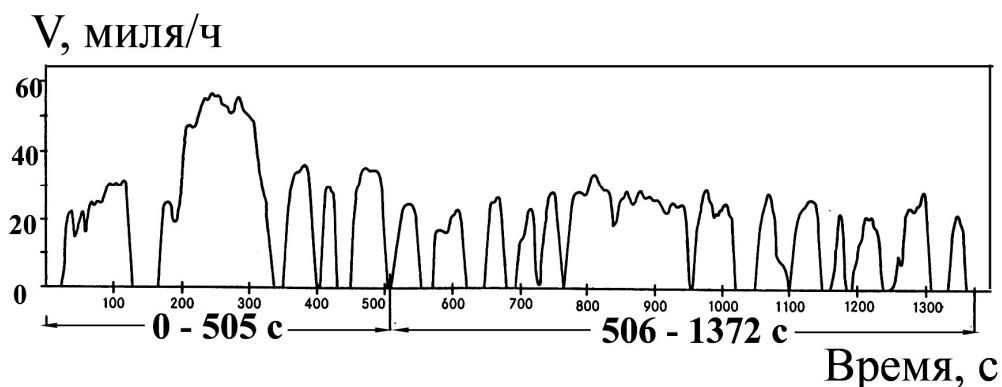


Рис. 2.5. Ездовой цикл *FTP-75* (США)

Характеристика цикла *FTP-75*:

- полное время испытаний, с	2477
- протяженность цикла, км	17,87
- средняя скорость автомобиля, км/ч	31,67
- то же, но без учета холостого хода, км/ч	38,56
- максимальная скорость автомобиля, км/ч	91,2
- доля холостого хода, %	17,9

В Европе, России и Японии применяют циклы, за основу которых приняты осредненные данные по характеру движения транспорта в различных городах, поэтому их используют во многих странах. При разработке таких унифицированных испытательных циклов при-

нимается во внимание наиболее вероятный характер работы объекта (т. е. режим работы двигателя) (рис. 2.6).

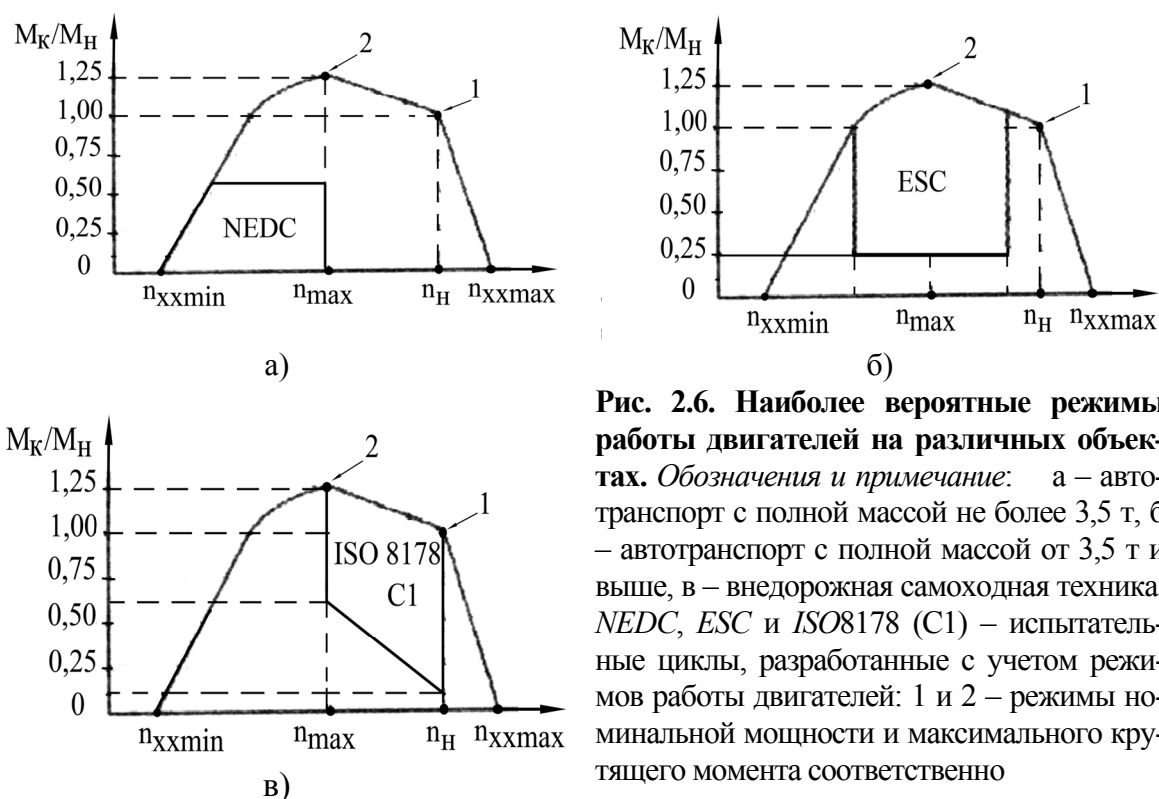


Рис. 2.6. Наиболее вероятные режимы работы двигателей на различных объектах. *Обозначения и примечание:* а – автотранспорт с полной массой не более 3,5 т, б – автотранспорт с полной массой от 3,5 т и выше, в – внедорожная самоходная техника. *NEDC, ESC и ISO8178 (C1)* – испытательные циклы, разработанные с учетом режимов работы двигателей: 1 и 2 – режимы номинальной мощности и максимального крутящего момента соответственно

Новый европейский ездовой цикл *NEDC – New European Drive Cycle* (согласно Правилам ЕЭК ООН № 83-02) состоит из двух участков (рис. 2.7).

Характеристика цикла *NEDC*:

первый участок

- полное время цикла, с	820
- протяженность цикла, км	4,052
- средняя скорость автомобиля, км/ч	18,7
- максимальная скорость автомобиля, км/ч	50
- доля холостого хода, %	31

весь цикл

- полное время цикла, с	1220	1220*
- протяженность цикла, км	11,007	10,646*
- средняя скорость автомобиля, км/ч	32,5	32,5*
- то же, но без учета холостого хода, км/ч	44,0	42,6*
- максимальная скорость автомобиля, км/ч	120	90*
- доля холостого хода, %	26,2	26,2*

Примечание. * – для автомобилей, у которых отношение мощности двигателя к полной массе автомобиля не более 30 кВт/т и максимальная скорость не более 130 км/ч.

Первый участок имитирует движение в условиях города (четыре повторения подряд), а второй – движение на загородной трассе (скоростной участок, новое дополнение относительно ранее действовавших требований). Измерение выбросов вредных веществ с ОГ начинается сразу же, как только автомобиль "начинает движение" на беговых барабанах после запуска холодного двигателя без предварительного прогрева на холостом ходу.

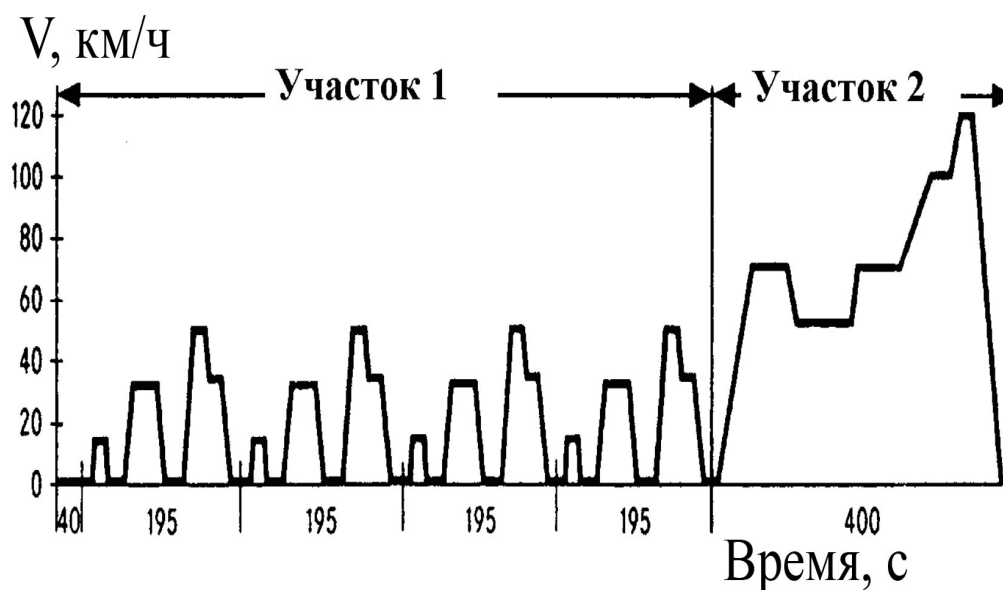


Рис. 2.7. Новый европейский ездовой цикл *NEDC*. Обозначения и примечание: участок 1 – движение в условиях города; участок 2 – скоростной участок. На оси абсцисс слева показано ранее применявшееся условие – до начала измерения двигатель прогревался на холостом ходу в течение 40 с

Модернизация цикла *NEDC* позволила предложить цикл *ETC* – *European Transient Cycle* – европейский цикл испытаний на переходных режимах (рис. 2.8).

Цикл *ETC* состоит из трех частей:

- имитация движения в условиях города с максимальной скоростью движения автомобиля до 50 км/ч с периодическими остановками;

- движение в пригородной зоне с максимальной скоростью до 72 км/ч с периодическими изменениями скорости;
- движение на скоростной магистрали практически с постоянной скоростью 88 км/ч.

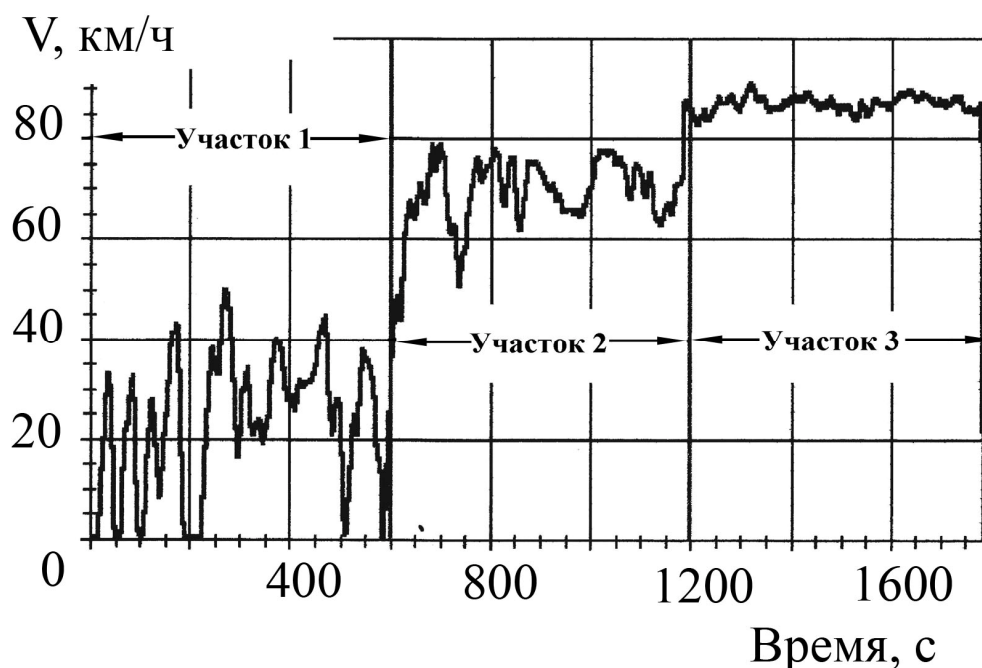


Рис. 2.8. Европейский цикл испытаний двигателей на переходных режимах *ETC* по оценке выбросов вредных веществ с отработавшими газами (имитация изменения скорости АТС)

Измерение количества выбросов ВВ с ОГ осуществляется постоянно в течение всего цикла испытаний (так называемая система постоянного отбора проб – *CVS (Constant Volume Sample)*), после чего производится пересчет массы выбросов на единицу пройденного пути (г/км) или за весь цикл (г/испытание).

Определение содержания ВВ в отработавших газах АТС с целью оценки *технического состояния* в России проводится при проведении технического осмотра. Для автомобилей с двигателем с искровым зажиганием измеряют содержание оксида углерода и суммарных углеводородов на установившихся режимах холостого хода: при частоте вращения коленчатого вала, соответствующей минимально устойчивым оборотам, и на режиме повышенной частоты, равной 0,8 от номинальных оборотов коленчатого вала.

2.2. Двигатели

Источником выбросов вредных веществ является двигатель внутреннего сгорания, а не объект, на котором установлен этот двигатель: если на объект вместо теплового двигателя поставить, например электродвигатель, то никаких выбросов вредных веществ с ОГ не будет. При определении экологических характеристик ДВС испытания проводят на *моторном стенде*, оборудованном средствами измерения, позволяющими определять и контролировать

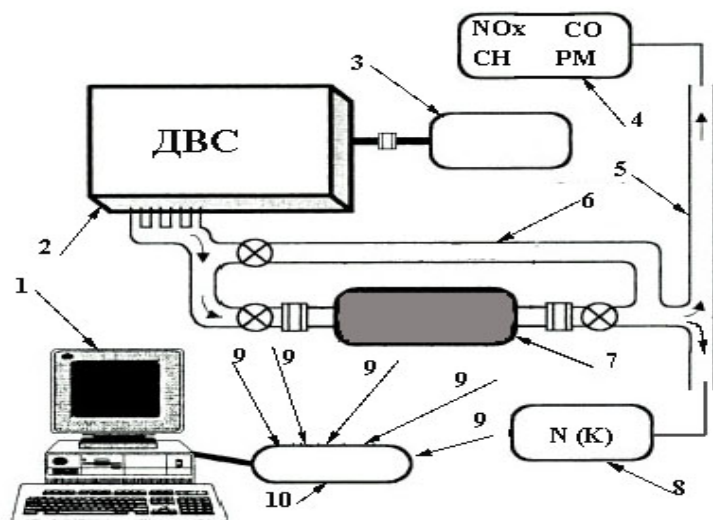


Рис. 2.9. Принципиальная схема моторного стенда для исследований ДВС. Обозначения: 1 – ЭВМ для обработки собираемой информации и управления испытаниями двигателя, 2 – двигатель, 3 – нагружающее устройство, 4 – автоматизированный комплекс для измерения содержания в ОГ газообразных составляющих и дисперсных частиц, 5 – система отвода отработавших газов, 6 – байпас отвода ОГ от ДВС, 7 – исследуемое устройство (нейтрализатор или противосажевый фильтр), 8 – дымомер, 9 – каналы сбора информации о параметрах функционирования двигателя и состава ОГ, 10 – устройство сбора информации

значения различных параметров двигателя

(рис. 2.9).

Испытания ДВС на моторных стендах более точны (что отражено в стандарте *ISO 8178*) и менее дороги. Кроме того, потребитель (изготовитель автомобилей, тракторов, комбайнов и т.п.) может выбрать подходящий по мощностно-экономическим и экологическим показателям двигатель, не затрачивая средства на испытания различных двигателей на самом объекте.

И так же как в случае с АТС применяют испытания на *переходных* и *установившихся режимах*. При этом существуют испытательные циклы, характер которых максимально приближен к работе в условиях эксплуатации конкретного типа техники, и обобщенные,

учитывающие особенности работы двигателей на самых различных объектах (рис. 2.10...2.13).

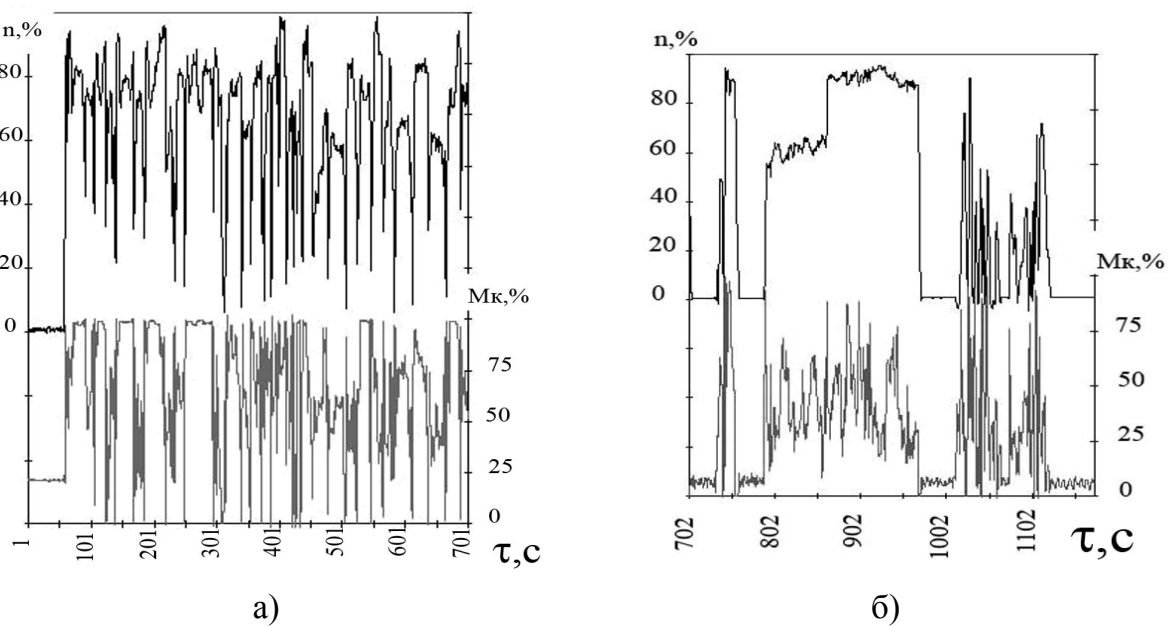


Рис. 2.10. Специализированные испытательные циклы двигателей различного назначения для оценки экологического уровня на переходных режимах. Обозначения: а – бульдозеры, б – погрузчики

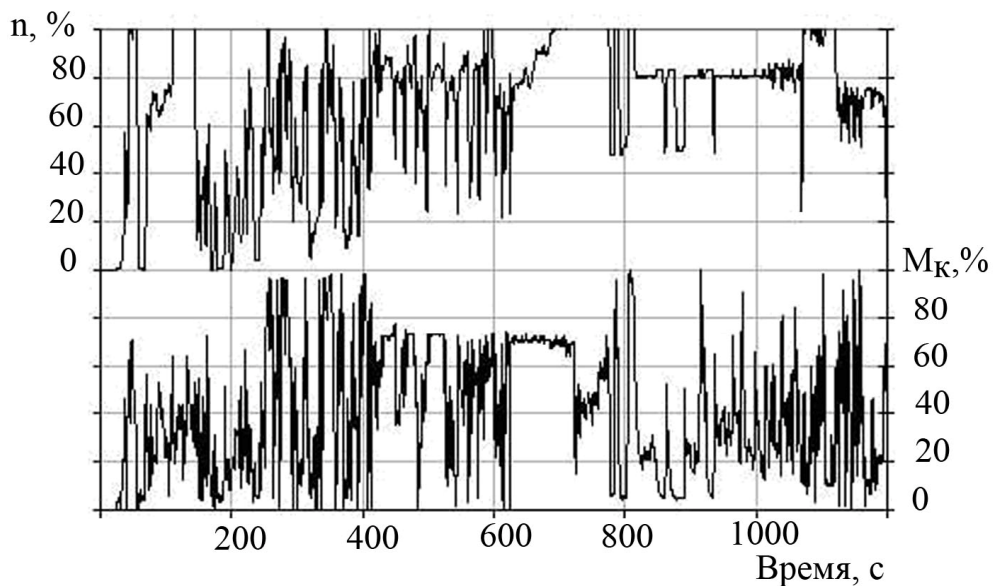


Рис. 2.11. Обобщенный испытательный цикл *NRTC* (*Non-Road Transient Cycle*) для двигателей внедорожной самоходной техники по определению содержания в отработавших газах дисперсных частиц

Цикл *HDDT* состоит из четырех участков, каждый из которых

имитирует работу двигателя на характерных для данного участка режимах:

- первый и четвертый участки соответствуют малоинтенсивному движению в условиях Нью-Йорка с частыми остановками;
- второй – интенсивному движению в условиях Лос-Анджелеса с несколькими остановками;
- третий – интенсивному движению по магистрали в пригороде Лос-Анджелеса.

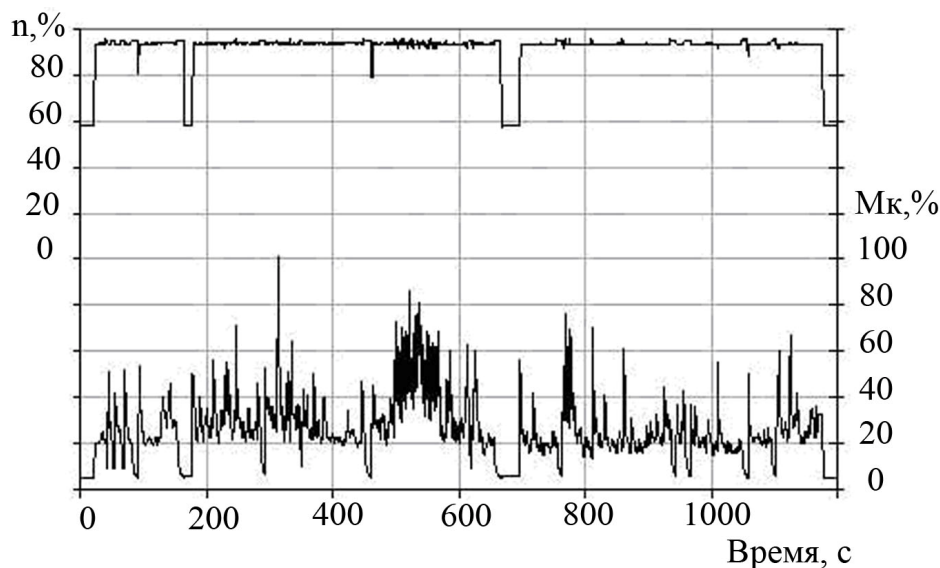


Рис. 2.12. Обобщенный испытательный цикл для двигателей внедорожной самоходной техники, работающих при постоянной частоте вращения коленчатого вала ($n = \text{const}$)

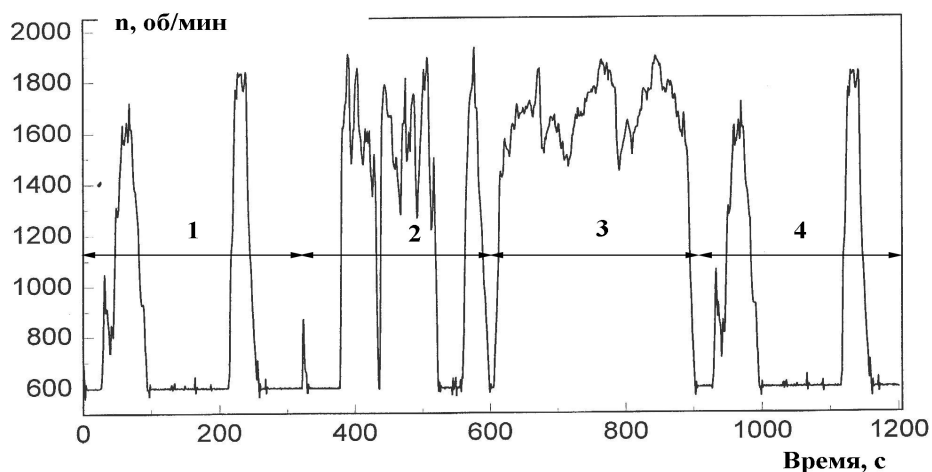


Рис. 2.13. Обобщенный испытательный цикл *HDDT* (США) на переходных режимах по оценке выбросов вредных веществ с отработавшими газами двигателей грузовых автомобилей

Также отличаются ИЦ для установившихся режимов (рис. 2.14, прил. 6).

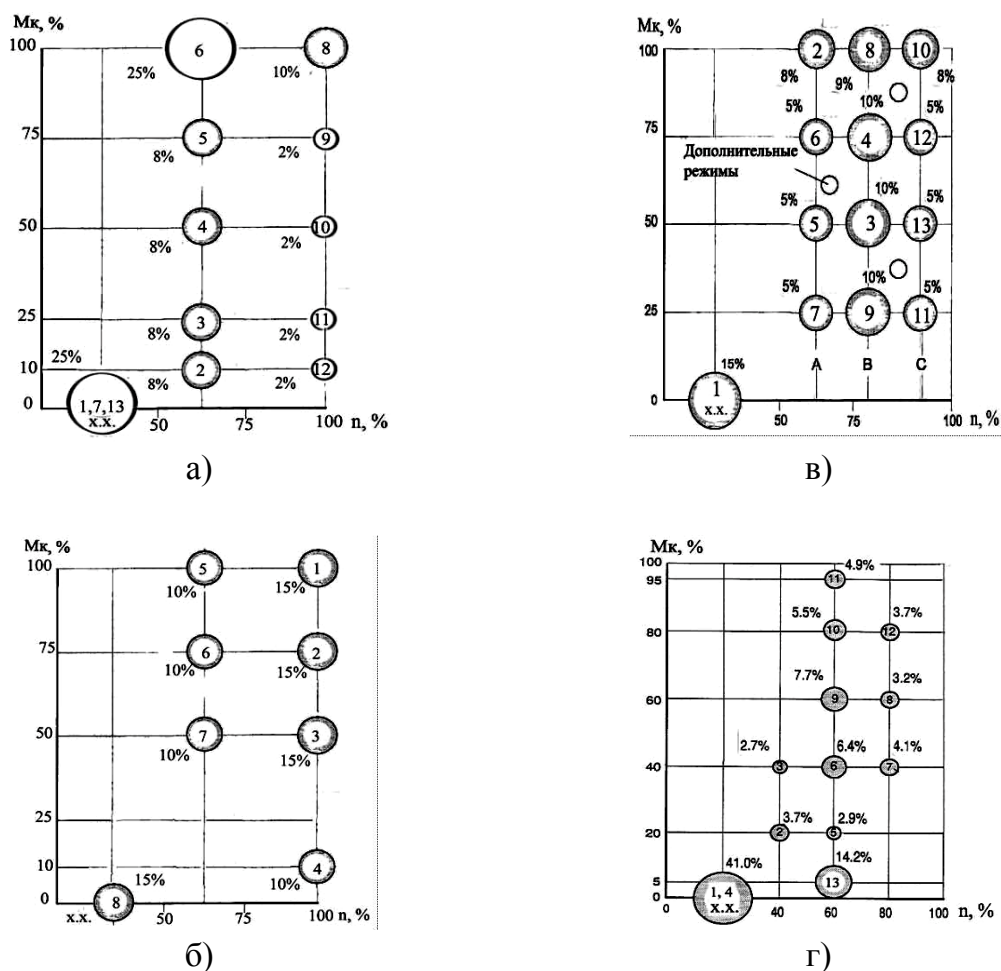


Рис. 2.14. Испытательные циклы по оценке выбросов вредных веществ с ОГ дизелей на установившихся режимах. Обозначения и примечания: а – ГОСТ 17.2.2.05-88, б – Правила ЕЭК ООН № 96, в – стандарт ESC, г – стандарт Японии. Цифры в кругах – порядковый номер режима ИЦ, проценты рядом с кругами – K_B режима

Циклы а), б) и г) (см. рис.2.14) – для дизелей, устанавливаемых на внедорожную самоходную технику, в) – для автомобильных дизелей. Отличия заключаются и в количестве режимов ИЦ (от 2 до 13), и в значениях коэффициента весоности K_B каждого режима.

Физический смысл коэффициента весоности режима: доля времени, которое затрачивается двигателем для работы на данном

режиме в условиях эксплуатации относительно всего времени (которое принимается за единицу). Значение данного коэффициента – величина статистическая.

Исходя из физического смысла K_v , его значение должно было бы учитывать особенности, присущие каждой стране: географическое положение (север, средняя полоса, жаркий пояс), преимущественно выращиваемые культуры (т.е. учитываются особенности работы при уборке каждой культуры), плотность населения, развитость транспортных магистралей, количество транспортных средств и т. д. Однако такой подход затруднил бы сравнение результатов испытаний двигателей в различных странах, хотя (как отмечалось выше) в США идут именно по этому пути.

При проведении испытаний двигателей на моторном стенде используется такое понятие, как *промежуточный скоростной режим* (Intermediate speed) $n_{пр}$. Численное значение частоты вращения коленчатого вала ДВС при этом соответствует режиму максимального крутящего момента $n_{мах}$ только в том случае, если данный режим лежит в определенном диапазоне относительно номинальной частоты $n_{ном}$ вращения коленчатого вала.

Например, для автомобильных двигателей оговаривается одно граничное значение: не ниже 60 % от $n_{ном}$, в противном случае $n_{пр}$ приравнивается значению 0,6 от $n_{ном}$. Для двигателей ВДСТ этот диапазон составляет от 60 до 75 % от $n_{ном}$; если же действительное значение $n_{пр}$ выходит за указанные рамки, то при испытаниях ее приравнивают ближайшему граничному значению: 0,6 или 0,75 от $n_{ном}$ (рис.2.15).

С 2000 г. в связи с введением в Европе норм уровня Евро-3, для автомобильных двигателей был предложен новый цикл испытаний на установившихся режимах по оценке выбросов ВВ с отработавшими газами – *ESC (European Stationary Cycle)* – европейский стационарный цикл. Согласно циклу ESC испытания проходят на четырех скоростных режимах, которые определяют на основании данных по снятию внешней скоростной характеристики двигателя (характерные ре-

жимы используются также при оценке дымности ОГ согласно циклу *ELR*, см. п. 3.2) (рис. 2.16).

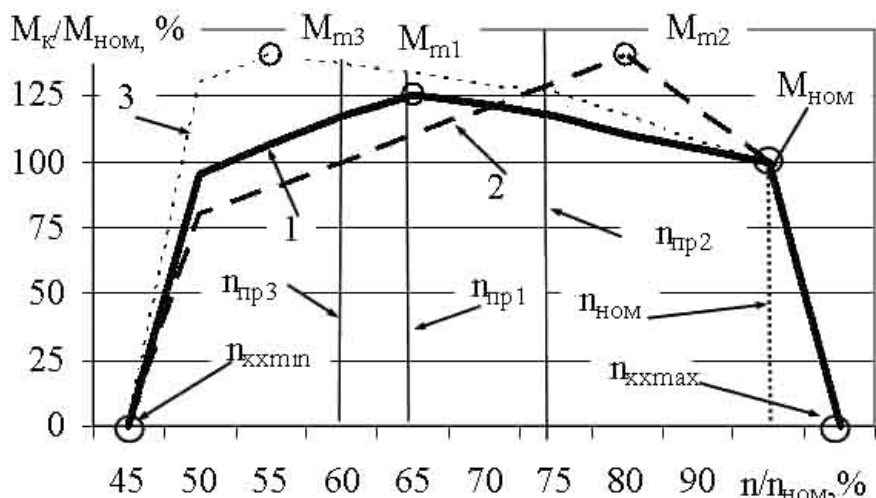


Рис. 2.15. Характерный вид внешних скоростных характеристик (1, 2 и 3) с различным значением промежуточного скоростного режима $n_{пр}$. Обозначения: о – режим $M_{к\max}$; $n_{пр1}$, $n_{пр2}$ и $n_{пр3}$ – значения $n_{пр}$, соответствующие скоростным характеристикам 1, 2 и 3

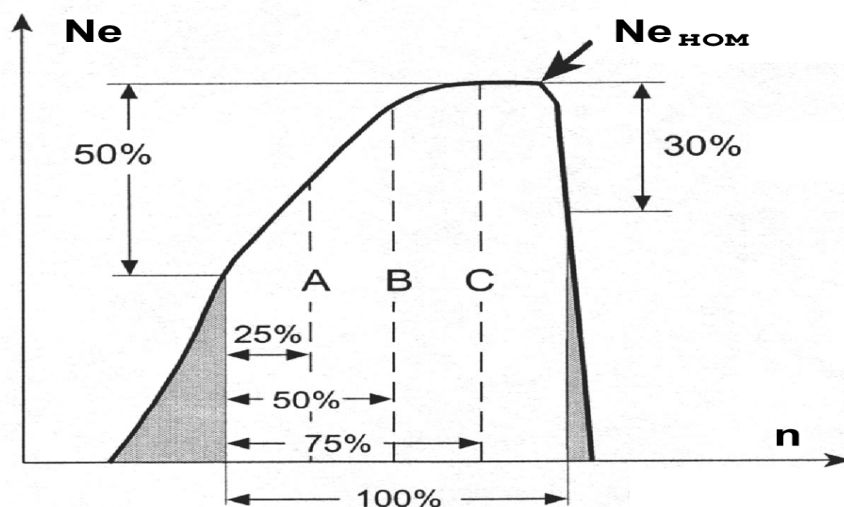


Рис. 2.16. Схема назначения скоростных режимов при испытаниях по европейским циклам по оценке выброса вредных веществ с ОГ (*ESC*) и дымности ОГ (*ELR*)

Вначале определяют границы скоростного диапазона: наибольшее значение определяется проекцией на ось абсцисс точки, взятой с регуляторной ветви характеристики (правая ветвь), соответствующей 70 % значения номинальной мощности $N_{e\text{ ном}}$; наименьшее значение, взятое с корректорной ветви характеристики (левая ветвь) – 50 % $N_{e\text{ ном}}$.

Указанный диапазон делится на четыре равные части, что позволяет определить три скоростных режима: А, В и С; четвертый – это режим, соответствующий минимальным оборотам холостого хода. Далее назначают 13 режимов с различными значениями нагрузки. Испытания по этим 13 режимам проводят последовательно согласно табл. П 6.2.

В ходе испытаний проверяющая сторона может дополнительно измерить концентрацию ВВ в отработавших газах на режимах, не входящих в 13 обязательных. Единственное ограничение – дополнительные режимы должны лежать в диапазоне скоростей от А до С и в диапазоне нагрузок – от 25 до 100 %. Подобные меры проводят с целью предотвращения наличия в характеристиках двигателя “экологических окон” – режимов, не входящих в испытательные циклы и отличающихся повышенными значениями выбросов ВВ с ОГ. Такие “окна” при наличии электронного управления двигателем могут быть реализованы достаточно просто.

Однако основное направление стандартизации – разработка циклов, единых для всех стран. Одно из таких предложений – всемирный цикл испытаний автомобильных дизелей на переходных режимах *WHTC* – *World Harmonized Transient Cycle*, учитывающий особенности испытательных циклов Европы, США, Японии и Австралии (рис. 2.17).

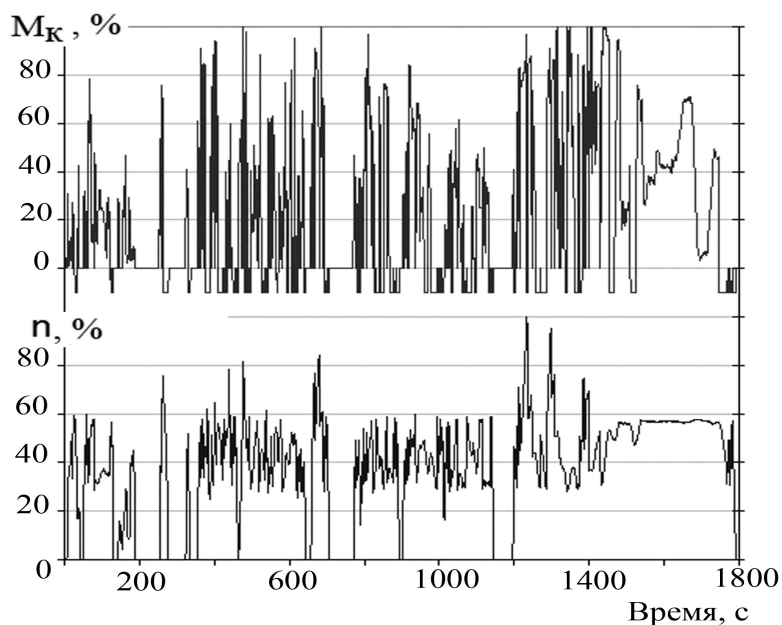


Рис. 2.17. Всемирный цикл испытаний дизелей, предназначенных для внедорожной самоходной техники на переходных режимах *WHTC*

Особенности данного цикла заключаются в имитации движения транспортного средства накатом (отрицательное значение крутящего момента), а также запуска двигателя после остановки (частота вращения коленчатого вала равна нулю) как в холодном состоянии, так и горячем.

Невозможно сравнение экологического уровня разных двигателей в случае проведения испытаний по различным стандартам.

Двигатель соответствует требованиям стандарта на экологический уровень только в случае соответствия по всем нормируемым параметрам одновременно:

- для ДВС с искровым зажиганием – по выбросам оксидов азота, оксида углерода и суммарным углеводородам;

- для дизелей – по выбросам оксидов азота, оксида углерода, суммарным углеводородам и дисперсным частицам, а также по уровню дымности отработавших газов.

Перечень ряда стандартов приведен в прил. 7.

§ 3. Испытательные циклы по оценке дымности отработавших газов дизелей

*Автотранспорт ♦ Дизели ♦ Установившиеся и переходные режимы
♦ Режим свободного ускорения ♦ Цикл реакции на нагрузку ♦ Единицы измерения
♦ Нормы выброса вредных веществ с отработавшими газами*

Дымность отработавших газов – показатель, характеризующий степень непрозрачности потока отработавших газов.

Измерение дымности ОГ проводится только для дизелей (как для отдельного двигателя, так и находящегося в составе транспортного средства) при работе на переходных и установившихся режимах.

3.1. Испытания на переходных режимах

Оценка дымности ОГ дизелей при работе на переходных режимах производится по двум циклам:

- при изменении скоростного режима и постоянстве нагрузки (режим свободного ускорения);

- при изменении нагрузки и постоянстве частоты вращения коленчатого вала – европейский *цикл реакции на нагрузку* (*ELR – Europe Load Response*).

Режим свободного ускорения. Свое название цикл получил по причине работы двигателя на холостом ходу, т.е. свободно, без нагрузки (для АТС это соответствует работе при нейтральном положении коробки переключения передач). Частота вращения коленчатого вала при этом изменяется от минимальных оборотов холостого хода $n_{xx \min}$ до максимальных оборотов $n_{xx \max}$. Увеличение подачи топлива (посредством перемещения педали, связанной с рычагом привода рейки топливного насоса высокого давления, из одного крайнего положения, соответствующего $n_{xx \min}$, в другое, соответствующее $n_{xx \max}$), приводит к возрастанию частоты вращения коленчатого вала в указанном диапазоне (рис. 2.18).

Изменение значения параметров по оси абсцисс происходит в масштабе нескольких секунд для любых типов дизелей, а по оси ординат изменения происходят в достаточно большом диапазоне (именно по этой причине на рис. 2.18 указана только шкала времени).

В нормативно-технической документации время перемещения рычага не регламентируется, но обычно оно не превышает 1,0 с (на рис. 2.18 это время равно приблизительно 0,2 с). Формулировки в данном случае достаточно обтекаемы: "...быстрым, но плавным перемещением до упора ручного привода рычага управления устанавливаются максимальную подачу топливного насоса...". Подобная формулировка дает большую свободу действий при обеспечении необходимого уровня дымности отработавших газов; чем больше указанное время, тем меньше максимальное значение дымности ОГ, принимаемое за результат измерения на режиме свободного ускорения. Объясняется это тем, что инерционность системы газообмена (подачи воздушного заряда) больше инерционности системы подачи топлива. И чем медленнее будет происходить изменение подачи топлива, т.е. чем медленнее будет происходить увеличение частоты вращения коленчатого вала, тем меньше будет несоответствие между расходом топлива и расходом воздуха – факторами, определяющими дымность ОГ.

Характер изменения показателя дымности ОГ (см. рис. 2.18) обуславливается соотношением количеств подаваемого топлива и воздуха в цилиндр двигателя.

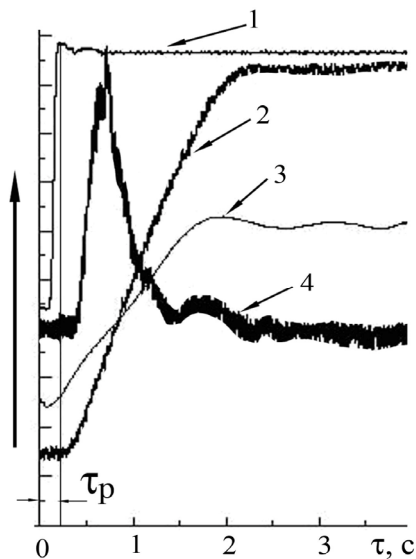


Рис. 2.18. Оценка дымности ОГ дизелей на режиме свободного ускорения. Обозначения: 1 – перемещение рычага привода топливного насоса (или педали в автомобиле), 2 – частота вращения коленчатого вала, 3 – сопротивление потоку ОГ в выпускном трубопроводе, 4 – дымность ОГ; τ_p – время перемещения рычага привода рейки ТНВД

Первоначально дымность ОГ резко возрастает, поскольку при быстром перемещении рычага привода ТНВД количество подаваемого топлива увеличивается практически мгновенно до максимально возможного вследствие незжимаемости жидкости. В то же время большее ускорение частоты вращения коленчатого вала приводит к тому, что вследствие инерционности воздушного потока количество поступающего воздуха не соответствует подаваемому количеству воздуха на аналогичных, но установившихся скоростных режимах. Таким образом, количество поступившего в цилиндр воздуха не соответствует поданному количеству топлива: происходит рассогласование подачи топлива и воздуха.

топлива и воздуха.

С течением времени количество поступающего в цилиндр воздуха увеличивается (поскольку воздушный поток преодолевает инерционность), и соотношение “воздух – топливо” приближается к обеспечиваемому на установившихся режимах. В результате уровень дымности от максимального значения начинает снижаться.

При достижении максимальных оборотов холостого хода и их стабилизации количество поступившего воздуха приходит в полное согласование с количеством подаваемого топлива – уровень дымности ОГ стабилизируется.

При испытаниях на режиме свободного ускорения за результат принимается максимальное значение дымности отработавших газов за весь период измерения.

Подобное рассогласование подаваемых в двигатель количеств воздуха и топлива особенно негативно сказывается на двигателях с турбонаддувом. Поскольку турбокомпрессор (ТКР) – это дополнительное сопротивление во впускном трубопроводе, имеющее к тому же газовую связь с двигателем, то время восстановления согласованности соотношения “воздух – топливо” увеличивается. Большое влияние в данном случае оказывает инерционность ротора ТКР – чем она больше, тем больше время стабилизации. Для ДВС с турбонаддувом это время стабилизации называется “турбо – яма”, или “турбо – лаг”. Для ДВС с механическим наддувом такой проблемы нет, поскольку ротор ТКР механически связан с коленчатым валом.

Норма дымности ОГ на режиме свободного ускорения для дизелей с естественным впуском воздуха соответствует максимально допустимому значению дымности ОГ для установившихся режимов, а для дизелей с наддувом – не должна превышать указанное значение более чем на $0,5 \text{ м}^{-1}$.

Исходя из изложенного понятно, что чем медленнее происходит разгон двигателя, тем меньше максимальное значение дымности ОГ. Время же разгона зависит, в частности, от инерционности масс, присоединенных к хвостовику коленчатого вала; при проведении испытаний двигателя на моторном стенде указанная инерционность определяется массой ротора балансирной машины.

С целью предотвращения влияния условий испытаний на *время разгона* двигателя от $n_{\text{xx min}}$ до $n_{\text{xx max}}$ (т. е. на уровень дымности ОГ) в стандартах оговаривается требование отсоединения двигателя от нагружающего устройства и присоединения к валу двигателя инерционных масс, эквивалентных вращающимся деталям при отключенной коробке передач. Но допускается не отсоединять двигатель, если момент инерции вращающихся масс нагружающего устройства не превышает предельно допустимое значение для конкретного двигателя более чем на 15 %.

В случае если инерционность вращающихся масс слишком вы-

сока, время разгона двигателя возрастает и уровень дымности оказывается нереально низким (рис. 2.19).

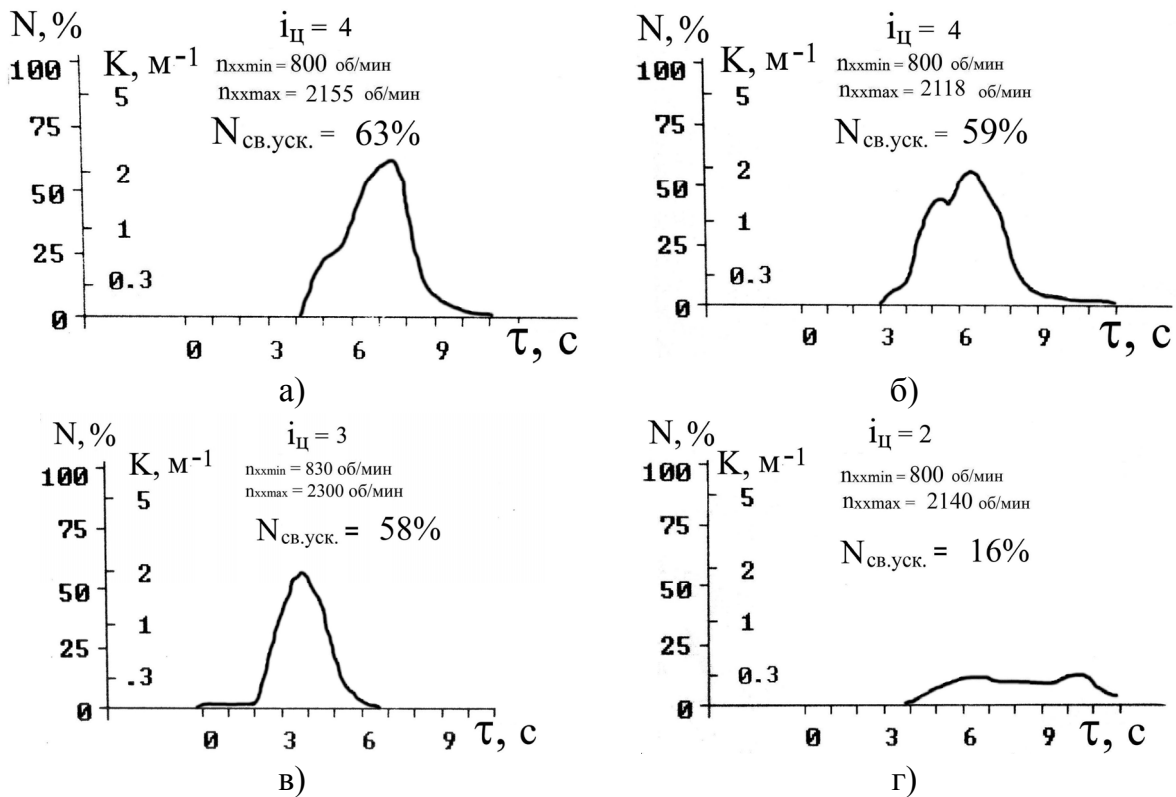


Рис. 2.19. Результаты измерения дымности отработавших газов дизелей на режиме свободного ускорения. Обозначения: а – и б – 4-цилиндровый, в – 3-цилиндровый и г – 2-цилиндровый двигатели

На рис. 2.19 приведены данные испытаний четырех-, трех- и двухцилиндровых двигателей по оценке дымности ОГ на режиме свободного ускорения на моторных стендах. Для двух первых двигателей значение инерционности вращающихся масс соответствовало требованиям (см. рис. 2.19, а – 2.19, в); для двухцилиндрового двигателя указанное значение было завышенным. В результате при одинаковом техническом уровне всех двигателей дымность ОГ двухцилиндрового двигателя оказалась в 3,5...4,0 раза ниже.

Также необходимо отметить, что на левой ветви кривых дымности ОГ четырехцилиндровых ДВС (в отличие от трехцилиндрового) виден временный провал, указывающий на прерывистое перемещение рычага привода рейки ТНВД (нарушение требований стандарта). Это обусловило замедление роста частоты вращения коленчатого вала и как следствие падение уровня дымности ОГ. При этом на рис. 2.19, б

локальное снижение дымности более четко выражено (т. е. налицо большой провал по оборотам дизеля), в результате максимальное значение дымности также снизилось относительно данных на рис. 2.19, а.

Цикл реакции на нагрузку. В связи с введением норм уровня Евро-3 процедура испытаний по оценке дымности ОГ на переходных режимах была изменена с режима свободного ускорения на новый цикл – европейский цикл реакции на нагрузку – *ELR* (рис. 2.20 и 2.21).

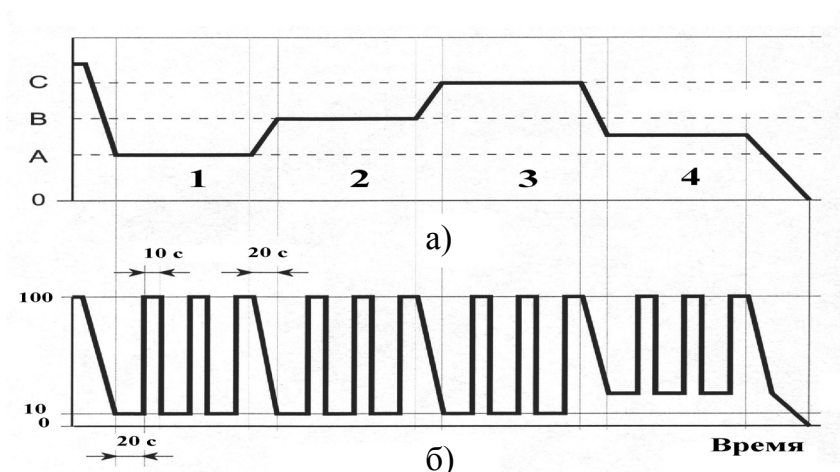


Рис. 2.20. Европейский цикл реакции на нагрузку (*ELR*) по определению дымности отработавших газов. *Обозначения:* изменение: а – частоты вращения коленчатого вала и б – нагрузки

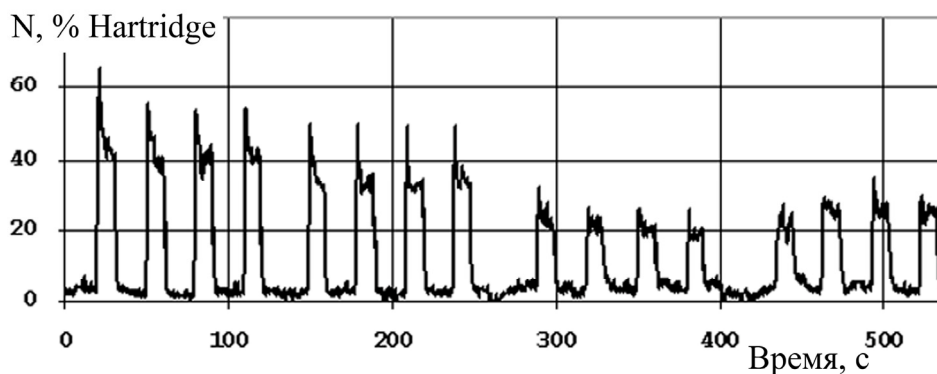


Рис. 2.21. Результаты измерения дымности ОГ дизеля при испытаниях по циклу *ELR*. *Примечание:* осциллографирование обеспечено и проведено Ю. И. Честновым, 1996 г. [10]

На каждом из четырех скоростных режимов не менее трех раз производится ступенчатое изменение нагрузки и измерение дымности отработавших газов. При этом начальное значение нагрузки составля-

ет 10 % от наибольшего значения крутящего момента на данном скоростном режиме. Перемещение рейки топливного насоса высокого давления из начального положения в положение, соответствующее максимальной подаче топлива, обеспечивается (системой регулирования моторного стенда) при поддержании частоты вращения коленчатого вала дизеля постоянной.

При испытаниях по циклу реакции на нагрузку ELR за результат берется средневзвешенное значение дымности за весь цикл измерения, которое рассчитывается по формуле

$$N_{\Sigma} = 0,43N_A + 0,56N_B + 0,01N_C,$$

где N_A, N_B и N_C – среднее наибольших значений дымности ОГ на скоростных режимах A, B и C соответственно. Результаты измерения дымности отработавших газов на четвертом скоростном режиме не должны превышать указанное среднее значение дымности.

Цикл EPA. В США для оценки дымности ОГ применяют цикл EPA, состоящий из режимов ускорения и замедления, а также установившегося режима (рис. 2.22).

Норма по циклу EPA: средние значения дымности ОГ при ускорении – 20%, при замедлении – 15%; максимальное значение дымности ОГ на всех режимах цикла – 50 %.

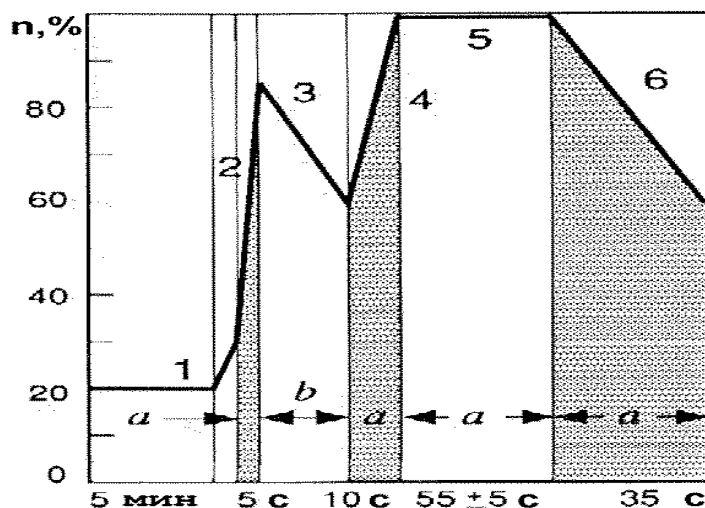


Рис. 2.22. Цикл EPA (США) по измерению дымности ОГ дизелей. Примечание: цифры и буквы характеризуют различные участки испытательного цикла

3.2. Испытания на установившихся режимах

Измерение дымности ОГ дизелей на установившихся режимах проводят при работе двигателя по внешней и частичной скоростным характеристикам, а также (для двигателей в составе транспортных средств) при максимальных оборотах холостого хода.

Режимы скоростной характеристики. В зависимости от стандартов это могут быть отдельные характерные режимы (например, номинальной мощности и максимального крутящего момента) или же режимы в разных диапазонах частоты вращения коленчатого вала.

При испытаниях по *внешней скоростной характеристике* один крайний режим соответствует номинальной (или эксплуатационной) мощности, а другой может быть ограничен либо максимальным крутящим моментом (как в ГОСТ 17.2.2.02-98 и ГОСТ Р 17.2.2.07-2000), либо наибольшим значением частоты вращения коленчатого вала из трех:

- 55 % от номинальной;
- 1000 об/мин;
- любого другого значения, назначенного производителем двигателей (согласно европейским Правилам ЕЭК ООН №24-03).

При работе на режимах *частичной скоростной характеристики*, например по методике Директивы 77/537/ЕС (введенной в действие в 1977 г., регламентирующей методику оценки дымности дизелей в составе колесных тракторов), испытания проводят при неполной подаче топлива: развиваемый крутящий момент должен составлять 80 % от наибольшего на каждом скоростном режиме (рис. 2.23); измерение дымности ОГ проводят либо на беговых барабанах, либо при торможении через вал отбора мощности.

Уровень норм дымности ОГ при всех видах испытаний на установившихся режимах зависит от условного расхода отработавших газов, который приравнивается к условному расходу воздушного заряда и рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{ОГ}} = (iV_h n) / (30\tau),$$

где i – число цилиндров; V_h – рабочий объем цилиндра, л; n – частота

вращения коленчатого вала, измеренная на соответствующем режиме, об/мин; τ – тактность двигателя (2 или 4).

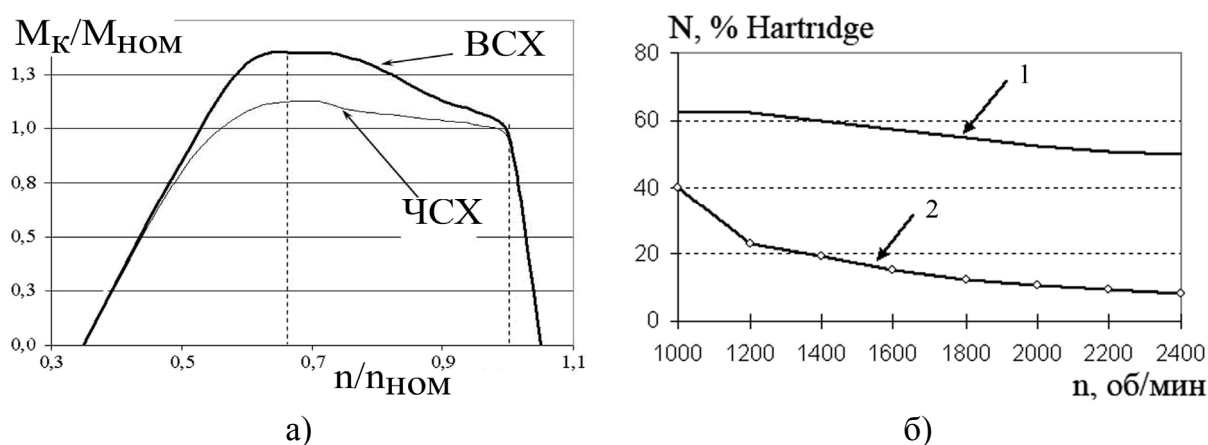


Рис. 2.23. Оценка дымности отработавших газов дизелей на установившихся режимах. Обозначения: а – внешняя и частичная скоростные характеристики (BCX и ЧСХ), б – данные по норме дымности и результаты измерения дымности ОГ на режимах скоростной характеристики для тракторного дизеля; 1 – норма дымности ОГ, 2 – результат измерения дымности ОГ

Режим максимальных оборотов холостого хода. Указанный вид испытаний проводят при испытаниях по циклу свободного ускорения – сразу (не позднее чем через 1 мин) после измерений на режимах свободного ускорения. Измерение дымности ОГ производится при стабилизации этого режима.

Объект соответствует нормативным требованиям по параметру дымности отработавших газов в случае одновременного выполнения обеих норм – для установившихся режимов и переходных (если иное не оговаривается в стандартах).

Оценка дымности ОГ транспортных средств в условиях эксплуатации. Данный вид испытаний проводится с целью определения *технического состояния* транспортного средства:

- на переходном режиме – режиме свободного ускорения;
- установившемся режиме – режиме максимальных оборотов холостого хода.

Контрольные вопросы

1. Виды, цели и принципы сертификации.
2. Что означают понятия: лицензия, аккредитация, техническая компетентность, омологация?
3. Зачем нужны стандарты? Виды стандартов.
4. Что такое испытательный цикл? Принципы назначения испытательных циклов.
5. Что такое идентификация продукции?
6. Структура стандартов по оценке экологического уровня транспортных средств и двигателей?
7. Нормируемые параметры, единицы их измерения, сроки изменения норм, условия выполнения требований стандартов.
8. Методы испытаний транспортных средств по оценке выбросов вредных веществ.
9. Методы испытаний двигателей по оценке выбросов вредных веществ.
10. Виды испытательных циклов по оценке экологического уровня транспортных средств.
11. Виды испытательных циклов по оценке выбросов вредных веществ.
12. Физический смысл коэффициента весомости режима.
13. Принцип назначения промежуточного скоростного режима.
14. Назначение режимов испытаний по циклу *ESC*.
15. Назначение режимов испытаний по циклу *ELR*.
16. Виды испытательных циклов по оценке дымности отработавших газов на установившихся и переходных режимах?
17. Методы испытаний транспортных средств по оценке дымности отработавших газов.
18. Методы испытаний двигателей по оценке дымности отработавших газов.

Рекомендуемая литература к главе

1. **Гальговский, В.Р.** Развитие нормативов ЕЭК ООН по экологии и формирование высокоэффективного транспортного дизеля. Ч. 1 /

В.Р. Гальговский, В.А. Долецкий, Б.М. Малков ; Ярослав. гос. техн. ун-т. – Ярославль, 1996. – 172 с. – ISBN 5-230-15322-9.

2. **Горбунов, В.В.** Токсичность двигателей внутреннего сгорания : учеб. пособие / В.В. Горбунов, Н.Н. Патрахальцев, Рос. ун-т дружбы народов. – М. : Изд-во Рос. ун-та дружбы народов, 1998. – 214 с. – ISBN 5-209-00912-2.

3. **Козлов, А.В.** Оценка выбросов вредных веществ автомобилями в условиях эксплуатации / А.В. Козлов // Автомобильная промышленность. – 1999. – № 2. – С. 37 – 40.

4. **Кульчицкий, А.Р.** Оценка дымности отработавших газов дизелей. Цикл *ELR*/ А.Р. Кульчицкий, Ю.И. Честнов, В.Л. Петров // Автомобильная промышленность. – 2002. – № 6. – С. 23 – 25.

5. ГОСТ Р 41.96-2005. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия, предназначенные для установки на сельскохозяйственных и лесных тракторах и внедорожной технике, в отношении выбросов загрязняющих веществ этими двигателями. – М. : Стандартинформ, 2004. – 63 с.

6. *ISO-8178* (части 4 и 9). Поршневые двигатели внутреннего сгорания. Измерение выброса продуктов сгорания и дымности отработавших газов. – М. : Госстандарт России, 1999. – 27 с.

Глава 3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

§ 1. Измерение концентрации газообразных веществ

Robin-тест ♦ Методы химического анализа ♦ Области применимости методов ♦ Тарировка ♦ Поверочные газовые смеси ♦ Термостатирование

Измерение содержания вредных веществ в отработавших газах проводится посредством отбора части ОГ и проведения химического анализа указанной пробы в различных приборах. При этом прибор может работать как постоянно (в автоматическом режиме), так и периодически – только во время обслуживания его оператором.

Выбор метода химического анализа, реализованного в средствах измерения (СИ), зависит от вида вещества, концентрацию которого необходимо измерить. В том случае, если одно и то же вещество подвергается разным видам химического анализа, результаты могут как совпадать, так и различаться.

Для измерения нормируемых газообразных ВВ – оксидов азота, оксида углерода и суммарных углеводородов стандартизованы соответственно *хемилюминесцентный, недисперсионный, абсорбционный и пламенно-ионизационный методы.*

Возможно применение и других методов, но при этом должна быть доказана их эквивалентность стандартизованным. Сама процедура доказательства эквивалентности согласно требованиям стандартов *ISO* достаточно сложна. В этом случае несколько двигателей поочередно проходят испытания в различных испытательных лабораториях (работу проводят на одной партии топлива для всех испытаний) – это так называемый *Robin-тест.*

При сравнении результатов измерений, полученных в разных организациях (межлабораторные испытания), допустимым считается расхождение не более $\pm 5\%$.

1.1. Оксид углерода

Измерение концентрации оксида углерода CO проводится *спектральным методом*. Метод основан на принципе определения вида молекул, из которых состоит вещество, по измерению спектров поглощения в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях. В современных приборах для выделения нужной спектральной области используют обычно недисперсионные методы (т. е. без разложения излучения в спектр). Чаще всего применяют газовые фильтры в оптико-акустических недисперсионных абсорбционных инфракрасных анализаторах (НДИК, *NDIR*), а абсорбционные и интерференционные светофильтры – в фильтровых фотометрах.

В случае применения *спектрофотометрических (дисперсионных) методов* обеспечивается сравнение поглощения двух монохроматических пучков излучения, из которых один проходит через исследуемый образец, а другой – через эталон. В качестве диспергирующего элемента, разлагающего излучение в спектр, могут быть использованы призмы, решетки и интерферометры. Проба измеряется по спектру поглощения в ультрафиолетовой (УФ) и инфракрасной (ИК) областях. Достоинством приборов является возможность одновременно измерять несколько компонентов на различных длинах волн.

ИК-метод основан на использовании абсорбционных характеристик углеводородов в ИК-диапазоне (для УФ-метода – в УФ-диапазоне). Этим методом измеряется поглощенная доля радиации, регистрируемая в виде повышения температуры и соответственно давления определенного объема газа, содержащего углеводороды.

Конструктивно прибор состоит из детектора и двух оптических ячеек (для выработки эталонного и измеряемого сигнала), расположенных между источником света и детектором. Детектор выполнен в виде двух камер, разделенных перфорированной мембраной. Камеры детектора заполняются до одинаковых давлений газом (каким-либо индивидуальным углеводородом, с помощью которого и производят тарирование прибора). Мембрана служит чувствительным элементом измерения перепада давления между камерами детектора, являясь пластиной конденсатора переменной емкости.

При заполнении измерительных ячеек измеряемым и эталонным

газами энергия инфракрасных лучей поглощается, при этом поглощенная энергия пропорциональна доле измеряемых компонентов в измерительной ячейке. Различное давление в обеих камерах детектора приводит к прогибу мембраны, что (вследствие изменения емкости) позволяет определить долю измеренных компонентов (рис. 3.1).

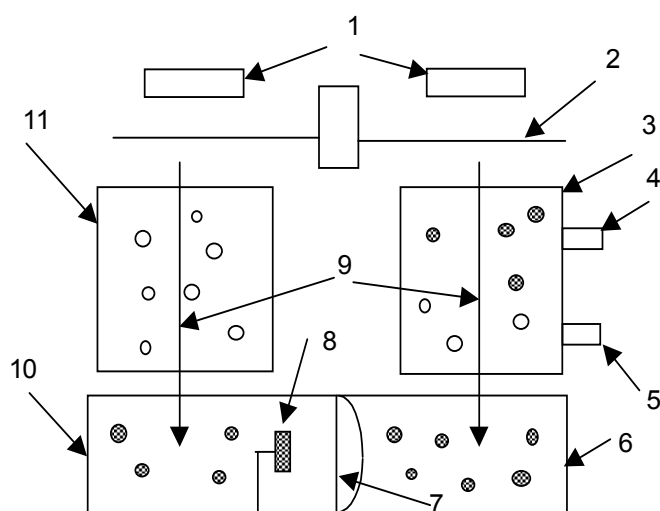
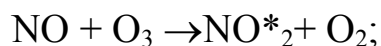


Рис. 3.1. Принципиальная схема анализатора оксида углерода, работающего по методу недисперсионной инфракрасной спектроскопии. Обозначения: 1 – инфракрасный излучатель; 2 – прерывающая диафрагма; 3 – измерительная ячейка; 4 – подвод анализируемого газа; 5 – отвод анализируемого газа; 6 – детектор анализируемого газа; 7 – разделительная мембрана; 8 – преобразователь давления; 9 – потоки инфракрасного излучения; 10 – детектор эталонного газа; 11 – эталонная ячейка; о – нейтральные компоненты; * – компоненты анализируемого газа

1.2. Оксиды азота

Измерение концентрации оксидов азота NO_x проводится *хемилюминесцентным методом*. В основу метода положено свойство оксида азота при взаимодействии с атомарным кислородом или озоном выделять квант света, который регистрируется высокочувствительным фотоумножителем. Получаемый сигнал пропорционален концентрации анализируемого компонента газовой смеси. Для измерения концентрации диоксида азота NO_2 его предварительно преобразуют в оксид азота NO посредством пропускания через нагреваемый каталитический конвертор. Реакция окисления оксида азота озоном O_3 идет с образованием возбужденной молекулы диоксида азота NO^*_2 , с по-

следующим переходом последней в невозбужденное состояние с выделением кванта света $h\nu$ (рис. 3.2):



где h – постоянная Планка, ν – частота, Гц.

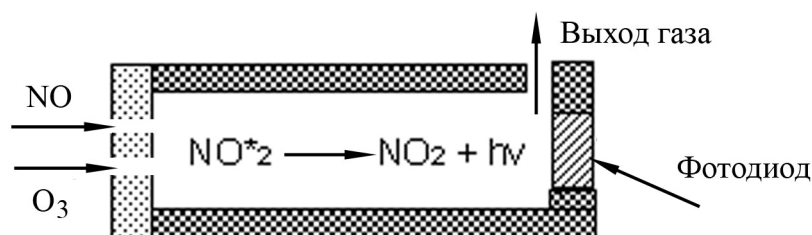


Рис. 3.2. Принципиальная схема анализатора оксидов азота, работающего по принципу хемилюминесценции

Возможно применение *фотоколориметрического метода*, представляющего собой одну из разновидностей абсорбционного оптического анализа, т. е. анализа по поглощению излучения определяемым веществом. Поглощение излучения приводит к изменению интенсивности окраски цветного соединения (пропорционально концентрации вещества), образующегося при взаимодействии определяемого компонента пробы со вспомогательным реагентом. Степень окрашенности определяется фильтровым фотометром. Метод применим для определения микроконцентраций и поверки газоанализаторов. В зависимости от среды, где происходит эта реакция, фотоколориметры подразделяются на ленточные и жидкостные:

- *ленточные фотоколориметры* приемлемы в основном как индикаторы и сигнализаторы наличия токсичных веществ; они отличаются большой погрешностью, вызванной неравномерностью пропитки ленты и ее старением, а также сильной зависимостью показаний от температуры;

- в *жидкостных фотоколориметрах* анализируемая проба барботирует (проходит) через раствор вспомогательного реагента, вследствие чего происходит образование окрашенного соединения.

1.3. Суммарные углеводороды

Для измерения концентрации суммарных углеводородов применяется *пламенно-ионизационный метод*, принцип которого заключается в измерении ионизационного тока между электродами, возникающего при введении в водородное пламя измеряемого компонента, носителем которого являются ОГ (рис. 3.3).

Величина тока пропорциональна концентрации газа и количеству атомов углерода в молекуле углеводорода. Метод позволяет измерять суммарные углеводороды (т. е. все присутствующие в пробе ОГ).

В случае необходимости измерения индивидуальных углеводородов применяется *метод газоадсорбционной хроматографии в режиме пламенно-ионизационного детектора*. Газообразная проба, содержащая исследуемые углеводороды, вводится в насадочную колонку, заполненную твердым адсорбентом (неподвижная фаза) и переносится через сорбционный слой потоком газа-носителя (подвижная фаза). Процесс разделения углеводородов осуществляется благодаря многократному повторению сорбционных и десорбционных актов при относительном перемещении фаз [8].

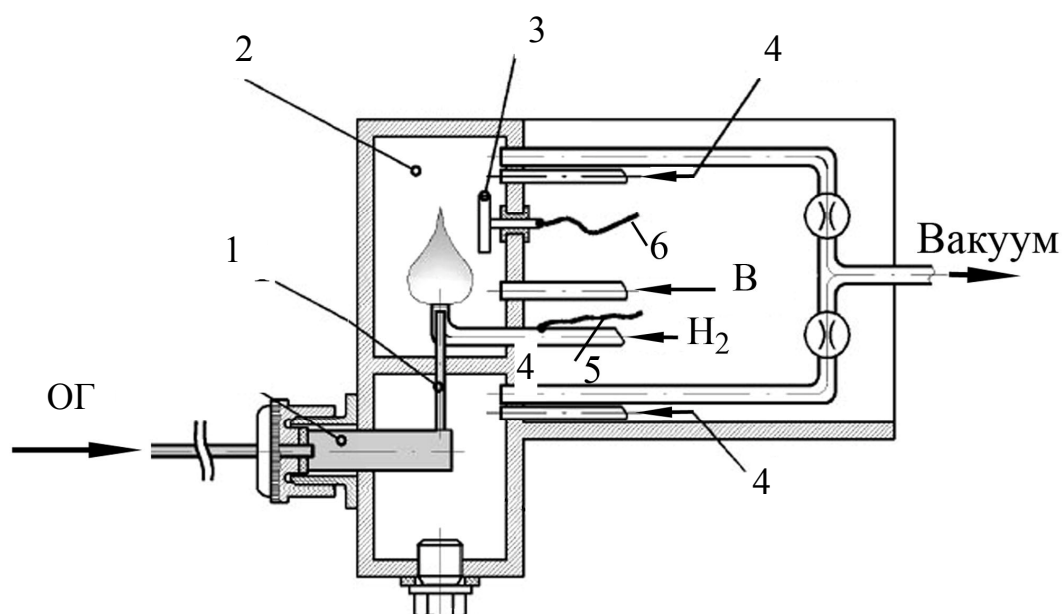


Рис. 3.3. Принципиальная схема анализатора суммарных углеводородов, работающего по принципу пламенной ионизации. Обозначения: 1 – подвод пробы ОГ к горелке; 2 – детектор; 3 – коллектор; 4 – подвод воздуха для продувки детектора; 5 – провод высокого напряжения; 6 – провод коллектора; В – чистый воздух, подаваемый в количестве, согласованном с подачей водорода H_2 для обеспечения воспламенения горелки

Значения коэффициентов распределения между подвижной и неподвижными фазами у каждого компонента смеси различные. В результате из-за различия в значениях “*времени задержки*” каждого компонента в процессе движения по каждому слою сорбента смесь разделяется. Таким образом, на выходе из колонки в потоке *газа-носителя* разделенные компоненты появляются с разницей по времени. Компоненты смеси “по очереди” поступают в пламенно-ионизационный детектор, в котором происходит их сгорание в водородовоздушном пламени. Горение происходит между двумя электродами. Ионизационный ток регистрируется прибором. Результат – *газовая хроматограмма* – обычно фиксируется на бумажном носителе (рис. 3.4).

По оси абсцисс откладывается время (мин) появления сигнала (т. е. время выхода компонента из хроматографа); по оси ординат – интенсивность сигнала (в безразмерных единицах). Чем больше площадь пика (т.е. чем шире основание и больше высота), тем больше концентрация вещества в смеси. Для идентификации компонентов сложных смесей предварительно проводят аналогичные исследования однокомпонентных смесей – *эталонных соединений* (молекулярный состав которых известен заранее). Недостатком метода газовой хроматографии является то, что степень ионизации различных газов неодинакова.

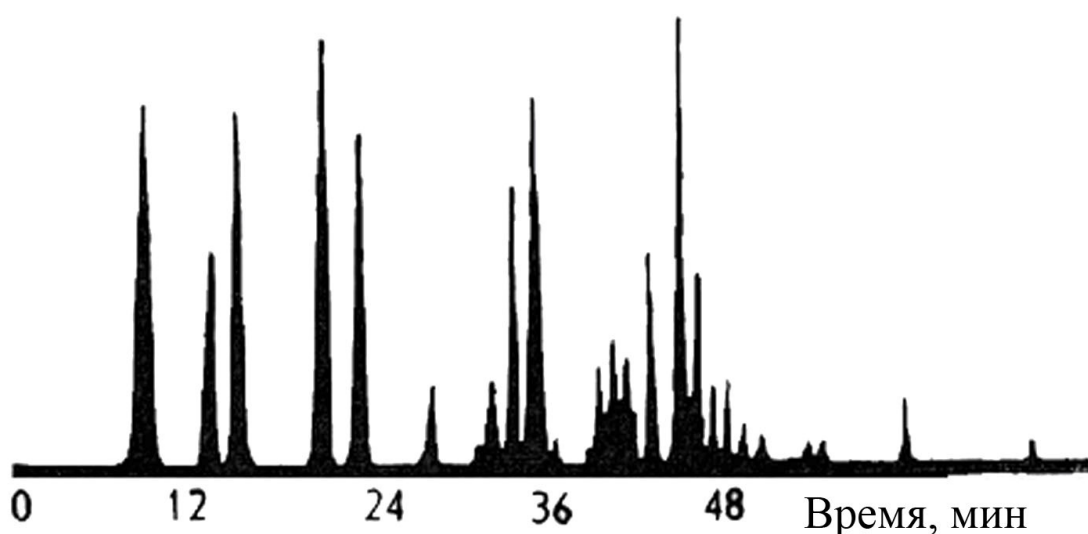


Рис. 3.4. Хроматограмма. *Примечание:* по оси ординат – интенсивность (в безразмерных единицах)

Как частный случай, при необходимости измерения концентрации неметановых углеводородов NMHC, то есть за вычетом метана CH_4 , применяют двухканальные схемы с катализатором или хроматографическими колонками.

1.4. Особенности измерений

В современных автоматических газоанализаторах установлены анализаторы, позволяющие проводить измерение в отработавших газах концентрации как нормируемых веществ (NO_2 , CO , C_nH_m , NMHC), так и некоторых других (CO_2 , SO_2 , O_2). Измерение проводят в пробе ОГ (неполнопоточный принцип измерения), пропускаемой через газоанализатор.

Для измерения концентрации CO_2 и SO_2 применяют недисперсионный абсорбционный метод (в ИК диапазоне).

При измерении концентрации кислорода O_2 используется парамагнитное свойство молекул кислорода. При прохождении потока пробы между двумя чувствительными элементами наличие кислорода в пробе приводит к отклонению движения пробы от первоначальной траектории. Это обуславливает поворот элементов, что фиксируется оптической системой. Ток, необходимый для обеспечения возврата элементов в начальное положение, пропорционален концентрации кислорода.

Во всех стационарных газоанализаторах в отличие от переносных обеспечивается *термостатирование* пробы ОГ – поддержание температуры пробы отработавших газов в определенном диапазоне. В первую очередь это касается углеводородов – подогреваемый газоотборный шланг обеспечивает поддержание температуры пробы ОГ на уровне $180\text{...}200\text{ }^\circ\text{C}$ с целью предотвращения конденсации высокомолекулярных углеводородов (в противном случае это может привести к снижению измеренной концентрации в несколько раз). В линии газоотбора оксидов азота также поддерживается температура не менее $70\text{ }^\circ\text{C}$ с целью предотвращения конденсации паров воды, что может привести к поглощению части оксидов азота. Термостатирование остальных газов (CO , CO_2 , O_2) обеспечивается в диапазоне $+5\text{...}+70\text{ }^\circ\text{C}$ для конденсации паров воды и осушки этих газов.

Анализаторы каждого измеряемого вещества тарируются *пове-*

рочными газовыми смесями (ПГС), в паспорте на которые отражаются номинальное значение концентрации анализируемого газа в смеси с газом-носителем (обычно воздухом, азотом или гелием) и погрешность измерения данного номинального значения, а также срок годности указанной ПГС, объем баллона (в котором находится ПГС) и давление газа в баллоне. Для каждого газа применяется своя поверочная газовая смесь. Для оксидов азота – ПГС, содержащая оксид азота определенной концентрации; для оксида углерода – ПГС, содержащая оксид углерода определенной концентрации; для суммарных углеводородов – ПГС, содержащая какой-либо индивидуальный углеводород (обычно метан, пропан или гексан).

Тарировка анализаторов проводится во всем диапазоне измерений данного прибора (если прибор имеет несколько диапазонов, то проверяется каждый диапазон). Измерение проводят от нулевого значения концентрации (с помощью так называемого нулевого газа – воздуха или азота) до 80 % (не менее) от полной шкалы измерения. Анализатор углеводородов может тарироваться с помощью разных углеводородов. Но если тарировка проводилась не тем газом, что рекомендуется, то это должно учитываться при измерениях введением соответствующего поправочного коэффициента.

Измеренная концентрация суммарных углеводородов C_nH_m (показания газоанализатора) представляет собой величину, зависящую от вида углеводорода, используемого при тарировке газоанализатора. Если в качестве тарировочного газа будет применяться углеводород, отличный от рекомендуемого, необходимо учитывать соотношение количеств атомов *углерода* в используемом газе и рекомендуемом. Объясняется это принципом применяемого в большинстве стационарных газоанализаторов метода химического анализа содержания суммарных углеводородов – пламенно-ионизационного, при котором расчет концентрации углеводородов идет по количеству атомов углерода.

Так, если при тарировке использовался метан CH_4 (что бывает довольно часто), а рекомендовался пропан C_3H_8 , то поправочный коэффициент равен $C_1/C_3 = 1/3$. Поэтому при тарировке анализатора необходимо внести соответствующую поправку в показания анализатора. Например, если концентрация метана была 1200 ppm, то анализатор должен быть настроен на показания $1200/3 = 400$ ppm.

Измерение содержания вредных веществ в ОГ может проводиться непосредственно в пробе отработавших газов (неразбавленной воздухом), что обычно имеет место при испытаниях ДВС на моторных стендах, а не в составе транспортного средства. При испытаниях же автотранспортного средства все отработавшие газы сначала собираются в специальные полиэтиленовые мешки, в которые затем подается определенное количество воздуха, исходя из расхода ОГ. После чего проводится измерение содержания вредных веществ в пробе разбавленных отработавших газов (рис. 3.5).

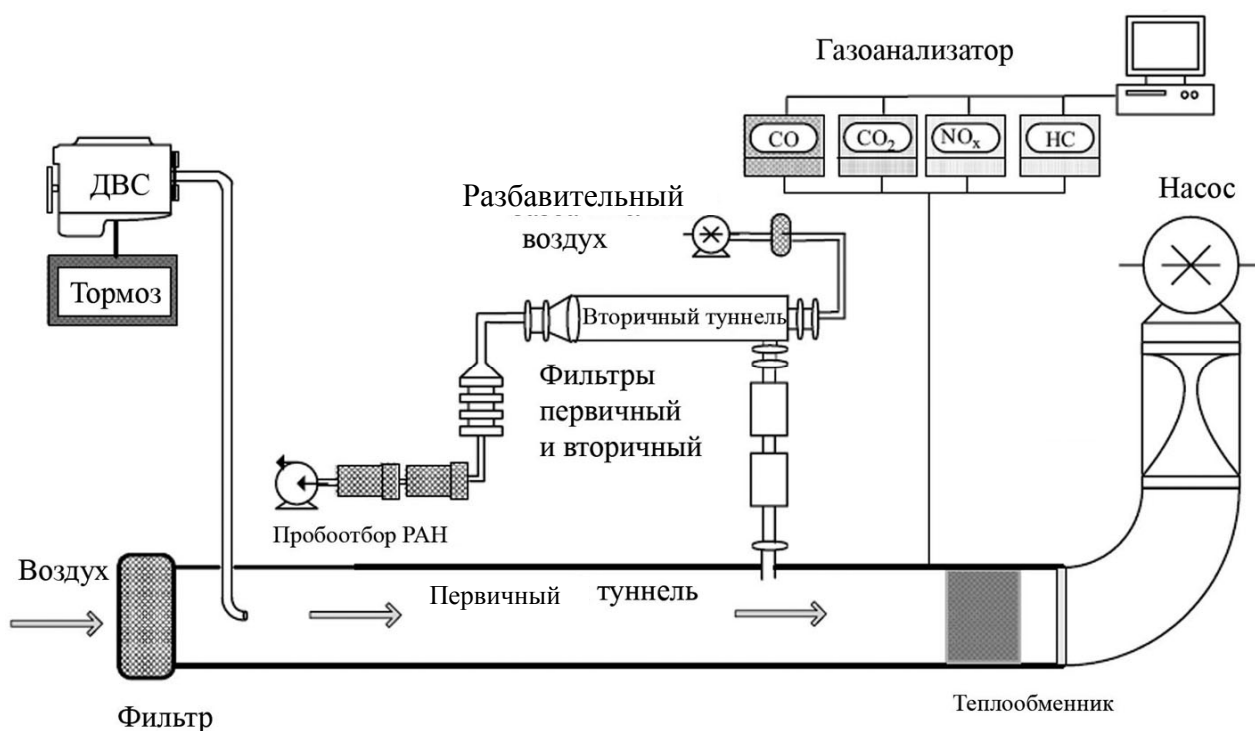


Рис. 3.5. Система постоянного газоотбора CVS – *Constant Volume Sample*

§ 2. Измерение концентрации дисперсных частиц

- Дисперсность ♦ Гравиметрический принцип измерения*
- ♦ Термостатирование ♦ Полнопоточный и неполнопоточный методы ♦ Определение дисперсности аэрозолей*

Отработавшие газы представляют собой аэрозоль – высокотемпературную (120...900 °С) газовую среду, в которой взвешены твердые частицы; кроме того, при понижении температуры ОГ вследствие

их смешения с воздухом некоторые газообразные вещества конденсируются (переходя в жидкое и твердое состояния). Размер аэрозольных частиц является функцией химических и физических процессов, происходящих в период от начала образования частиц до их отбора. На размер частиц оказывают влияние такие процессы, как разбавление ОГ воздухом, коагуляция, конденсация, уровень гомогенности и гетерогенности. Распределение жидких и твердых частиц в газовой среде характеризуется таким параметром, как *дисперсность* – количество частиц в единице объема, а также распределение частиц по размеру.

2.1. Гравиметрический метод

В настоящее время в качестве стандартного метода определения эмиссии дисперсных частиц (*PM* – Particulate Matter) с ОГ при испытаниях дизелей (как на стенде, так и в составе транспортного средства) принят гравиметрический метод. Принцип метода – определение массы твердых и жидких веществ, находящихся в единице объема смеси ОГ и воздуха при температуре этой смеси не выше 52 °С (325 К).

Испытания проводят с помощью измерительного комплекса, который в технической литературе принято называть “*туннель*”, поскольку один из центральных блоков комплекса представляет собой трубу (т. е. туннель). В этом блоке ОГ разбавляются воздухом с целью понижения температуры смеси до уровня 52 °С, что приводит к конденсации всех высокомолекулярных соединений (углеводородов с углеродными группами от C₅ и выше). Поскольку на различных скоростных и нагрузочных режимах расход ОГ различен (особенно у ДВС с наддувом), то количество разбавляющего воздуха также различно для поддержания постоянного соотношения между ним и ОГ. Далее отбирается проба смеси отработавших газов и воздуха (при этом должно обеспечиваться равенство линейных скоростей основного потока ОГ и отбираемой пробы – *изокинетический метод*), которая пропускается через фильтр (материал фильтра – фибергласс). Внешний вид фильтров зависит в основном от концентрации сажи в ОГ (рис. 3.6).

Масса *PM* определяется как разница между результатами взве-

шивания фильтра до испытаний (чистый фильтр) и после. Учет массы паров воды проводится посредством *термостатирования* фильтров в термостате при постоянной влажности до и после испытаний, т. е. количество влаги в фильтрах до и после испытаний постоянно.

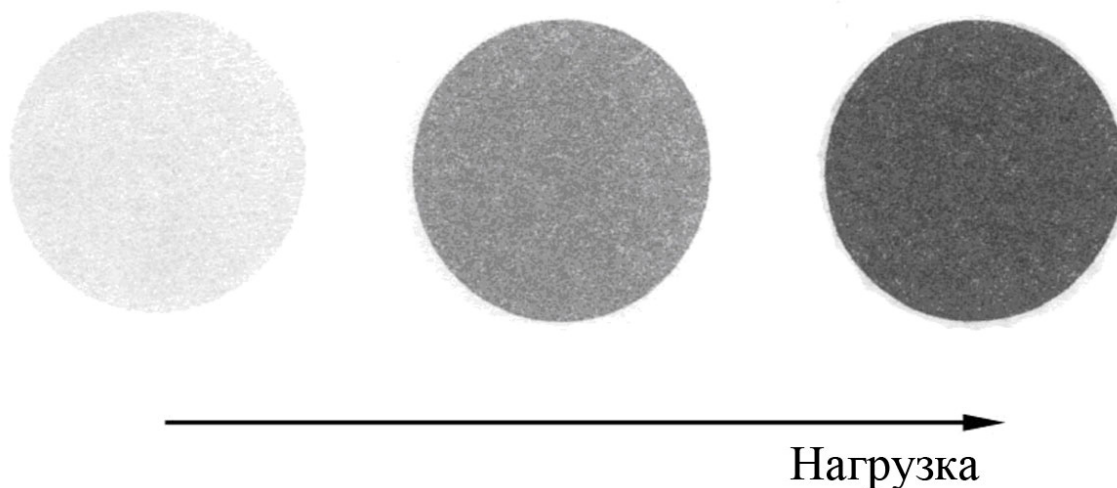


Рис. 3.6. Внешний вид фильтров, через которые пропустили смесь отработавших газов и воздуха. Примечание. Фильтры сняты на трех режимах, отличающихся величиной нагрузки

В ходе испытаний двигателей используются два типа “туннелей” – *полнопоточный* и *неполнопоточный* (рис. 3.7), в последнем случае – так называемые “мини-туннель” и “микро-туннель”. В полнопоточном весь поток ОГ от дизеля пропускается через “туннель”, а в неполнопоточном - только часть ОГ. В связи с этим один образец “мини-туннеля” возможно использовать для очень широкой гаммы (по расходу воздуха) двигателей, а один полнопоточный “туннель” способен обеспечить проведение испытаний только двигателей, близких между собой по мощности. Для ДВС, имеющих большой расход воздуха, необходим “туннель” большего габарита, чтобы не создавать повышенного сопротивления ОГ на выходе из двигателя. Полнопоточные “туннели” имеют разбавительную трубу длиной 6 – 11 м, а “мини- и микро-туннели” – от 0,6 до 3 м.

Тем не менее именно полнопоточные измерительные комплексы являются эталонными. Они наиболее приемлемы в случае испытаний двигателей не более 25 кВт (в противном случае их габаритные раз-

меры слишком велики), и особенно – при испытаниях на переходных режимах.

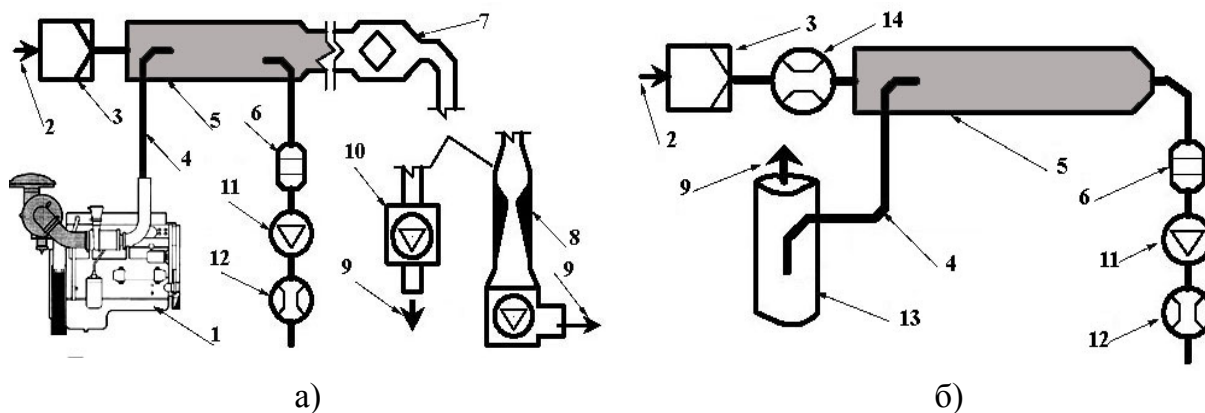


Рис. 3.7. Принципиальная схема: а – полнопоточного и б – неполнопоточного “туннеля”. Обозначения: 1 – двигатель, 2 – разбавительный воздух, 3 – воздушный фильтр, 4 – труба для отвода ОГ, 5 – разбавительный туннель, 6 – фильтр для осаждения дисперсных частиц, 7 – холодильник для осушения ОГ, 8 – сопло Вентури, 9 – отвод ОГ, 10 – насос для прокачки воздуха, 11 – насос для отбора пробы, 12 – расходомер, 13 – выхлопная труба двигателя, 14 – расходомер воздуха

Для неполнопоточных измерительных комплексов проблемой является обеспечение точных характеристик разбавления ОГ воздухом в случае испытаний двигателей мощностью менее 25 кВт (слишком малы расходы воздуха). При этом разбавление воздухом отработавших газов – источник дополнительных погрешностей при проведении измерений, так как в этом случае возможно изменение качественного и количественного состава дисперсных частиц. Достоверность же результатов, получаемых на неполнопоточных комплексах, должна быть доказана, что обычно обеспечивается на стадии создания последних и подтверждается сертификатом.

Неполнопоточный метод измерения эмиссии дисперсных частиц дает занижение результата измерения до 12 %.

Существенным недостатком системы неполнопоточного туннеля является то, что под воздействием высокой температуры ОГ идет процесс разрушения и/или пиролиза органических веществ, попадающих в пробу со стенок выхлопной системы автомобиля или ДВС и

измерительной части прибора. Ситуация усугубляется в случае роста температуры ОГ в связи с ростом нагрузки, а также в случае наличия выше точки отбора пробы развитой поверхности, например глушителя. В этом случае необходима выдержка на режиме в течение длительного времени для устранения подобного влияния. Проблема разрушения *PM* особенно важна в случае образования крупных частиц. Поэтому перед измерением должна обеспечиваться идентичность условий за счет выдержки на режимах, причем на разных нагрузках выдержка различна. На режиме холостого хода ДВС стабилизация первоначальных условий может быть обеспечена в течение одной минуты, но с ростом нагрузки это время увеличивается.

2.2. Измерения количества и размера частиц

Для оценки эмиссии дисперсных частиц с ОГ в настоящее время применяют оборудование, основанное на отличных от гравиметрического метода принципах измерения. Это оборудование бывает двух типов:

- обеспечивающее измерение в реальном масштабе времени (или близко к этому);
- обеспечивающее первоначально отбор проб ОГ с последующим анализом.

В 1953 г. для анализа различных дисперсных систем с жидкой токопроводящей средой был запатентован так называемый счётчик Коултера (W. Coulter) (рис. 3.8).

В приборе измеряется импульс электрического напряжения, возникающий при прохождении частицы через отверстие в непроводящей перегородке (стенке ампулы). Импульс напряжения обусловлен увеличением сопротивления между электродами в момент, когда частица, увлекаемая потоком токопроводящей жидкости, проходит сквозь отверстие. Величина (амплитуда) импульса пропорциональна объёму частицы. Анализируемая система, например суспензия, из стакана в ампулу засасывается благодаря опусканию ртути (под действием силы тяжести) в правом колене манометра при отключенном внешнем источнике разрежения. Автоматический счёт числа импульсов и сортировка их по амплитудам позволяют получать кривые распределения частиц по размерам. Применение набора сменных ампул, различающихся диаметром микроотверстия, даёт возможность проводить дисперсионный анализ суспензий, эмульсий, газовых пузырьков

в жидкостях с размерами частиц от 0,3 до 800 мкм. Прибор используют в промышленности, научных исследованиях, медицинской практике. С его помощью анализируют порошки (пигменты, абразивы, пищевые продукты и др.); контролируют процессы растворения, кристаллизации, коагуляции; определяют загрязнённость воды и других жидкостей механическими примесями; осуществляют счёт форменных элементов крови (эритроциты, лейкоциты, тромбоциты).

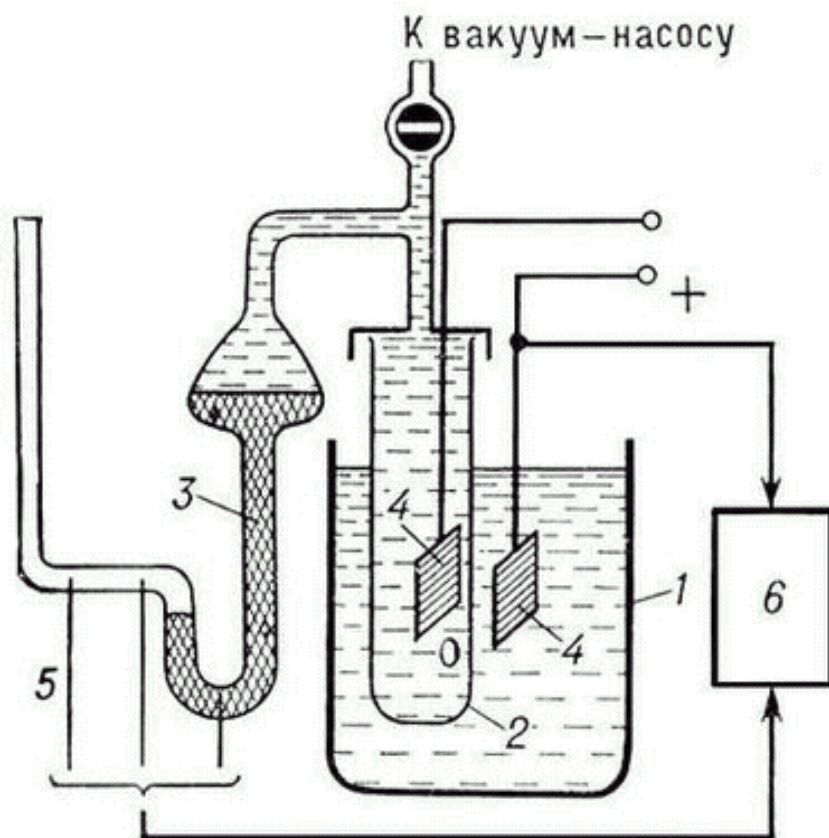


Рис. 3.8. Принципиальная схема прибора для измерения дисперсности сред (счетчик Коултера). *Обозначения:* 1 – емкость, 2 – ампула, 3 – ртуть, 4 – анод и катод, 5 – отвод, 6 – электрический счетчик

На вышеописанном принципе измерения основаны многие современные приборы. Каждый тип оборудования позволяет измерять ряд характеристик частиц, обусловленных их размером: электропроводность, аэродинамический диаметр, оптические свойства, инерционность, фотоэлектрические свойства, спектральные характеристики. Все эти характеристики определяются на основе анализа таких параметров частиц, как их количество, площадь поверхности, объемная или массовая концентрация.

При использовании оборудования, действующего на различных принципах измерения, нельзя обеспечить прямое сравнение результатов. В итоге нельзя получить достоверную информацию по распределению частиц размером 0,001...100 мкм, разбитому на 50 диапазонов, применяя один и тот же тип оборудования, т. е. необходимо применение приборов, работающих на различных принципах.

Особенности образования дисперсных частиц в ходе рабочего процесса могут привести к большим искажениям получаемых данных на одном и том же режиме. Во многих случаях точность измерения определяется методом отбора пробы, т. е. системой пробоподготовки.

Существенное влияние на результаты измерения оказывает повторяемость результатов. Измерения, проведенные на одних и тех же режимах, но с разрывом во времени, могут дать различные результаты (рис.3. 9).

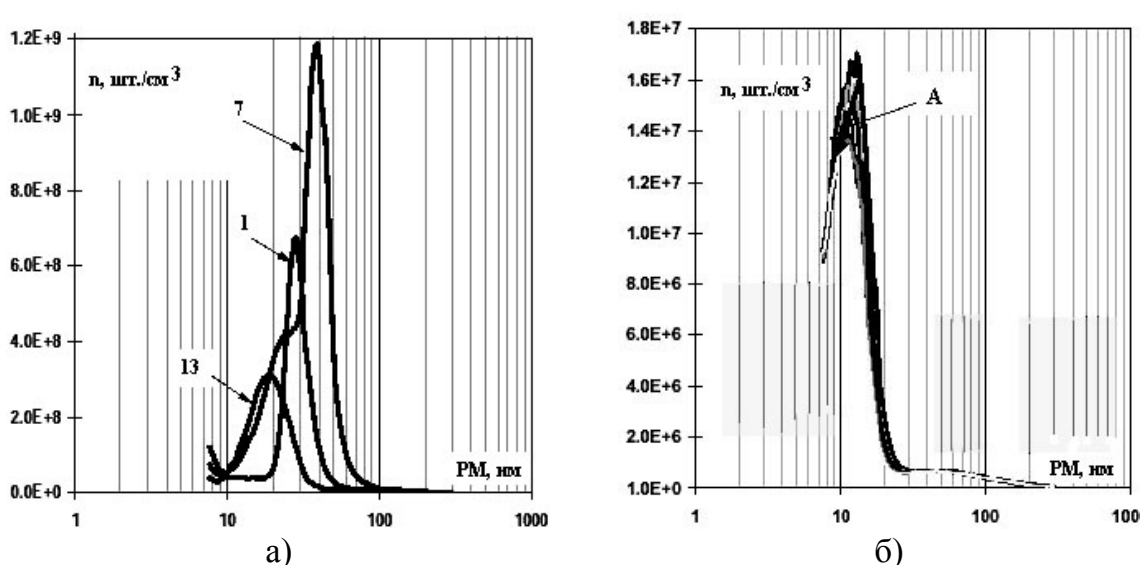


Рис. 3.9. Повторяемость результатов измерений дисперсности частиц.
Обозначения: а – режимы холостого хода согласно методике Правил ЕЭК ООН №49-02 (цифры 1, 7 и 13 – номера режимов по 13-ступенчатому циклу); б – режимы максимального крутящего момента (снятые троекратно в течение 20 мин); А – направление изменения максимальных значений концентраций зародышевых частиц с течением времени

Максимальное значение концентрации дисперсных частиц, а также величина их наиболее вероятного аэродинамического диаметра (см. рис. 3.9, а, режимы холостого хода) существенно отличаются:

- режим № 1 снимается на относительно холодном двигателе;
- режим № 7 – сразу после режима максимального крутящего

момента (т.е. когда камера сгорания прогрета до максимальных температур);

- режим № 13 снимается после последовательного охлаждения двигателя по мере снижения нагрузки от номинальной до холостого хода.

Что касается режима максимального крутящего момента (см. рис. 3.9, б), то по мере прогрева двигателя (в течение 20 мин, в ходе которых трижды проводились измерения) ситуация с зародышевыми частицами размером около 10 нм (0,010 мкм) аналогична режиму холостого хода. Но концентрация и абсолютное значение аэродинамического диаметра крупных частиц (коагулированных) не изменяются.

Отсутствие повторяемости результатов измерений предопределяет возможность заметного расхождения результатов измерения эмиссии дисперсных частиц с отработавшими газами двигателей не только в разных организациях, но и в одной при повторных измерениях.

§ 3. Измерение дымности отработавших газов

*Полнопоточный и неполнопоточный методы измерения ♦ Оптический и фильтрационный методы ♦ Эффективная база дымомера
♦ Единицы измерения*

Дымность отработавших газов определяется только для дизелей и транспортных средств, на которых установлены дизели. Испытания проходят по строго регламентированным испытательным циклам. Оценка дымности отработавших газов проводится с помощью приборов, в которых реализованы два различных принципа измерения: оптический и фильтрационный.

3.1. Оптический метод

Оптический метод основан на измерении непрозрачности столба отработавших газов определенной длины, т. е. на измерении величины интенсивности поглощения пучка света, проходящего через указанный столб ОГ, что фиксируется фотодатчиком. Калибровка прибора проводится с применением стандартных стеклянных фильтров с затемнением определенного уровня. При этом способе измерения поглощение и рассеивание света столбом ОГ зависит от содержа-

ния твердых, жидких и газообразных веществ, находящихся в ОГ (сажи, углеводородов топлива и масла, CO , CO_2 , SO_2 , SO_3), в том числе и паров воды. Эти приборы называют дымомерами, опасиметрами, нефелометрами.

Дымность ОГ оценивается такими показателями, как:

- коэффициент ослабления светового потока (измеряется в процентах непрозрачности по шкале *Hartridge*) – степень ослабления светового потока вследствие поглощения и рассеивания света отработавшими газами при прохождении ими рабочей трубы дымомера;

- натуральный показатель ослабления светового потока (м^{-1}) – величина, обратная толщине слоя отработавших газов, проходя который поток излучения от источника света дымомера ослабляется в “e” раз.

Измерение дымности ОГ проводится посредством пропускания части ОГ через измерительную камеру дымомера, т. е. в этом случае реализуется *неполнопоточный* принцип измерения (рис. 3.10).

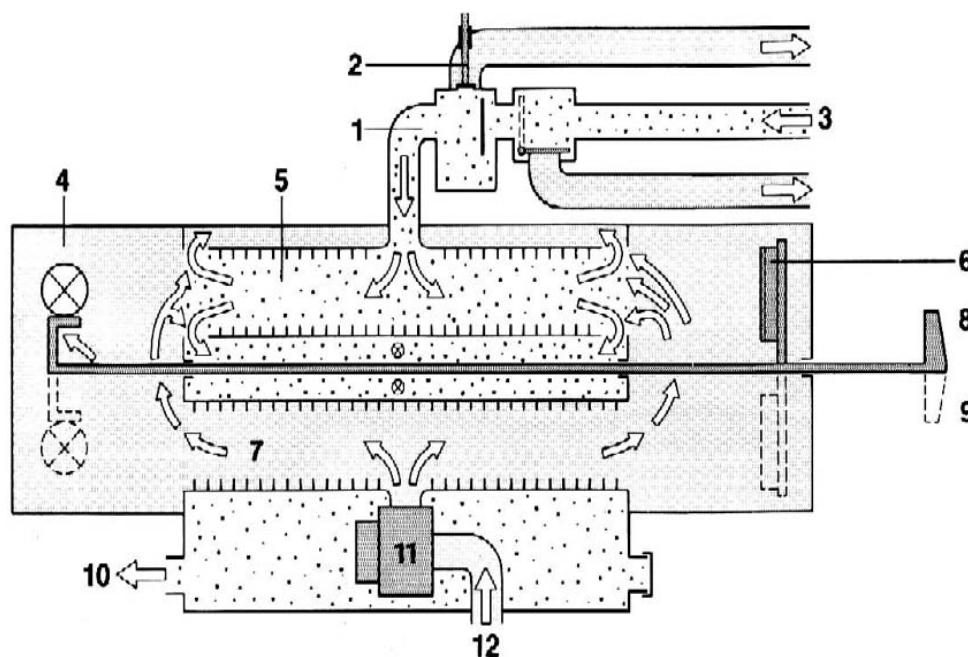


Рис. 3.10. Принципиальная схема оптического дымомера (неполнопоточный принцип измерения). Обозначения: 1 – вспомогательная камера; 2 – предохранительный клапан; 3 – продувочный воздух; 4 – фотоэлемент; 4 – амперметр; 5 – измерительная камера; 6 – калибровочный фильтр; 7 – поток ОГ; 8 и 9 – калибровочное и рабочее положения рукоятки; 10 – отвод ОГ; 11 – запорный клапан; 12 – подвод ОГ

При каждом цикле измерения прибор в автоматическом режиме сначала обнуляет показания по характеристике воздуха, заполняющего измерительную камеру. После чего в эту камеру подается проба ОГ. Быстродействие прибора (обеспечение измерения после подачи ОГ в камеру) зависит от времени заполнения камеры до определенного давления, т. е. 1...2 с. Последнее обстоятельство важно при проведении испытаний на переходных режимах.

Для измерения дымности ОГ находят применение (хотя и достаточно редкое) приборы с *полнопоточным* принципом измерения (рис. 3.11).

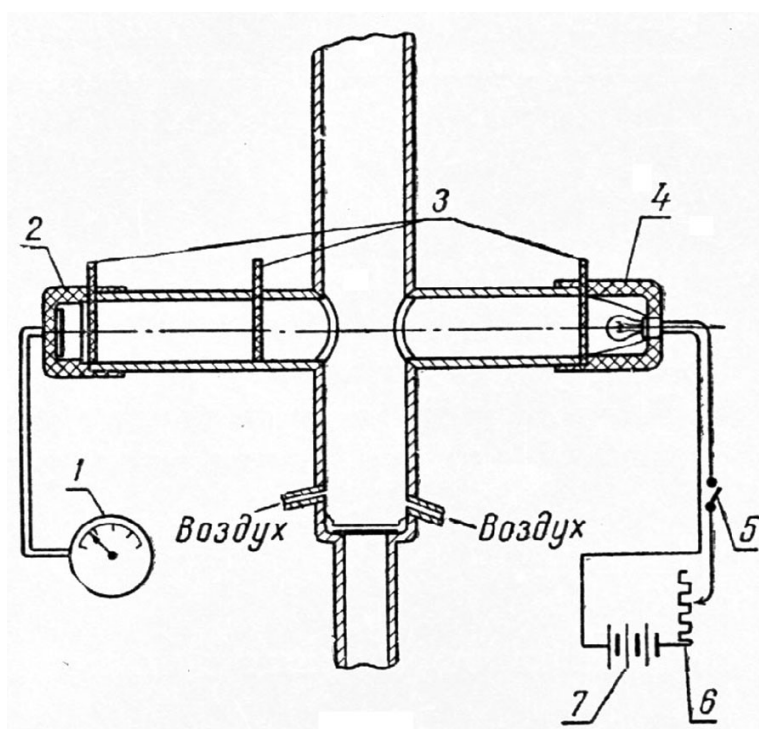


Рис. 3.11. Принципиальная схема полнопоточного дымомера. Обозначения: 1 – гальванометр, 2 – фотоэлемент, 3 – защитные стекла, 4 – источник света, 5 – выключатель, 6 – реостат, 7 – аккумуляторная батарея, воздух – продувочный воздух

Недостатком данных приборов является невозможность использования одного образца на двигателях с разным расходом ОГ, т. е. с разным размером выпускного трубопровода, поскольку соединение дымомера и трубопровода не должно допускать подсоса воздуха (что приведет к искажению результатов измерений).

Важная характеристика оптических дымометров – размер *эффективной базы дымомера* (т. е. толщина слоя ОГ). *Стандартизированной величиной является размер $L = 0,43$ м.* В случае использования дымометров с различной эффективной базой получаемые результаты измерения дымности отработавших газов будут также различными (рис. 3.12).

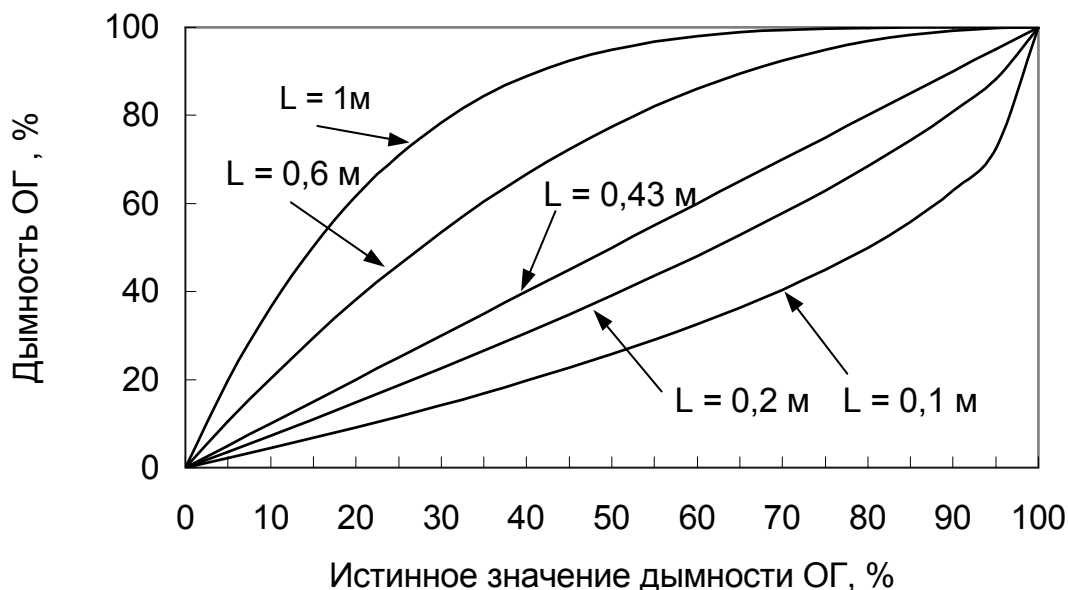


Рис. 3.12. Влияние величины эффективной базы дымометра на показания прибора. *Примечание.* Истинное значение дымности ОГ – в случае использования дымометра с величиной эффективной базы 0,43 м

Чем больше значение эффективной базы дымометра, тем больше получаемое значение дымности ОГ, поскольку чем больше база, т. е. чем больше путь, проходимый лучом света от источника до приемника, тем сильнее поглощение и рассеивание света и тем сильнее ослабляется луч света к моменту прихода к приемнику.

И хотя в современных средствах измерения приведение результатов измерения к единой величине эффективной базы производится на программном уровне, тем не менее данное обстоятельство следует особенно учитывать в случае использования приборов, изготавливаемых малоизвестными фирмами. И тем более недопустимо применение

ние подобных приборов при испытаниях, связанных с сертификацией ДВС и автотранспортных средств.

Существенное значение для оптических дымомеров имеет *термостатирование* пробы – поддержание температуры пробы ОГ, находящейся в измерительной камере прибора, в определенном диапазоне температур. При слишком низких температурах происходит конденсация паров воды, приводя тем самым к кажущемуся увеличению значения дымности отработавших газов. Искажение результатов измерения возможно и в случае несоответствия давления в измерительной камере, поскольку это определяет плотность столба ОГ.

3.2. Фильтрационный метод

Фильтрационный метод измерения дымности ОГ основан на измерении интенсивности отраженного пучка света, направленного на поверхность фильтра, через который пропускают фиксированный объем отработавших газов (обычно – от 0,3 до 1,0 л) (рис. 3.13).

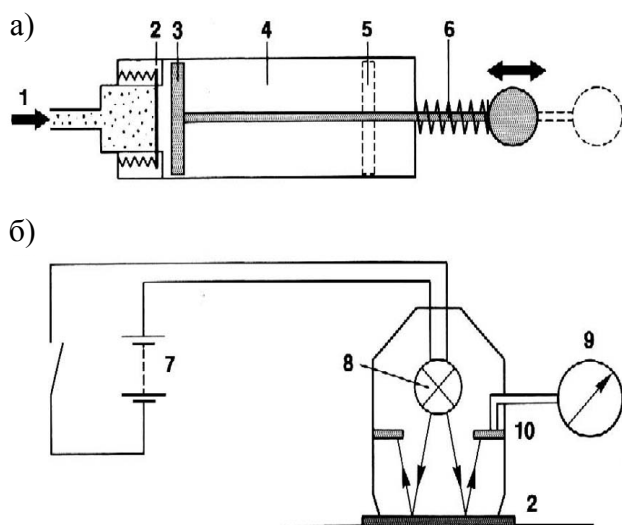


Рис. 3.13. Принципиальная (а) и электрическая (б) схемы фильтрационного сажемера. *Обозначения:* 1 – подвод ОГ; 2 – фильтр; 3 и 5 – начальное и конечное положение поршня; 4 – камера; 6 – пружина; 7 – источник тока; 8 – источник света; 9 – амперметр; 10 – фотодатчик

Материал фильтра – бумага определенной пористости и плотности. Калибровка обеспечивается стандартными фильтрами (пластмассовые подложки с затемнением соответствующего уровня). Степень почернения фильтра пропорциональна концентрации сажи (находящейся в ОГ), т. е. нагрузке на двигатель, в связи с чем эти приборы часто называют сажемерами. Внешний вид фильтров аналогичен внешнему виду фильтров, применяемых при измерении эмиссии дисперсных частиц гравиметрическим методом (см. рис. 3.6).

Использование фильтров для определения уровня дымности отработавших газов фильтрационным методом делает его похожим с гравиметрическим методом определения эмиссии дисперсных частиц. Однако если при оценке уровня дымности измеряют степень отражения светового потока от поверхности фильтра, то при оценке эмиссии дисперсных частиц измеряют их массу, отложившуюся на поверхности фильтра.

Время обеспечения измерений зависит от времени прокачивания пробы ОГ через фильтр (2...6 с), при этом сначала происходит обнуление показаний посредством измерений на чистом фильтре, а затем – и измерение на фильтре, через который прокачали отработавшие газы.

Дымность ОГ в данном случае оценивается в единицах дымности по шкале *Bosch*. Перевод из единиц дымности по шкале *Bosch* в единицы дымности по шкале *Hartridge*, и концентрации сажи в отработавших газах производится по тарифовочным таблицам (см. таблицу)

Соотношение между сажесодержанием и единицами измерения дымности отработавших газов

Концентрация сажи, г/м ³	Единицы <i>BOSCH SZB (FSN)</i>	Единицы <i>HARTRIDGE</i> (эффективная база $L = 0,43$ м)	
		%	м ⁻¹
0	0	0	0
0,025	0,9	10	0,245
0,050	1,75	20	0,519
0,100	2,6	30	0,829
0,1250	3,3	40	1,188
0,2125	3,85	50	1,612
0,325	4,6	60	2,131
0,430	5,15	70	2,800
0,650	5,7	80	3,743
0,675	6,05	85	4,412
0,750	6,35	90	5,355
0,950	7,0	94,5	6,900

3.3. Область применимости методов

В обоих методах (оптическом и фильтрационном) проводится сравнение изменения величины электрического тока. Либо при прохождении пучка света через столб ОГ и через столб чистого воздуха той же длины, либо при отражении пучка света от поверхности чистого и загрязненного фильтров.

Различием обоих методов измерения является то, что непрозрачность зависит от дисперсности аэрозоля (сажистых частиц, несгоревших углеводородов и паров воды), степень же почернения фильтра – только от массы частиц сажи. При этом фильтры задерживают не все частицы сажи: в зависимости от величины пор до 60 % частиц сажи может пройти сквозь фильтр.

Однако принципиальная разница между обоими методами заключается в том, что при оптическом методе непрозрачность столба ОГ измеряется постоянно, т. е. уровень дымности ОГ отслеживается практически в реальном масштабе времени. При этом в современных приборах обеспечивается автоматическая фиксация максимального значения дымности отработавших газов, а в некоторых – запись изменения значения дымности ОГ в течение переходного режима. А при фильтрационном методе результат измерения – это средняя величина за период измерения. Подобное различие не позволяет использовать фильтрационные дымомеры при испытаниях на переходных режимах, поскольку они не обеспечивают измерение максимального уровня непрозрачности за период измерения (см. рис. 2.18).

Определение дымности ОГ дизелей на переходных режимах проводится только с помощью приборов, в которых реализован оптический метод измерения, поскольку фильтрационный метод не позволяет отслеживать непрерывное изменение дымности ОГ в течение измерения. Для проведения испытаний дизелей на установившихся режимах возможно применение обоих типов приборов: оптических и фильтрационных.

§ 4. Оценка состава продуктов сгорания топливных обогревательных приборов

Метод измерения ♦ Единицы измерения ♦ Результаты измерения

На транспортных средствах (и не только на них) часто используются обогревательные приборы для обогрева кабины, работающие

на принципе сжигания топлива. Топливо может быть как жидким, так и газообразным. Воспламенение топливовоздушной смеси производится за счет подачи электрической свечи зажигания.

Требования к содержанию вредных веществ в продуктах сгорания от указанных топливных обогревательных приборов определяются международными стандартами (*ISO 5063*, Правила ЕЭК ООН № 122). Нормы содержания вредных веществ: CO – 0,1 % об., NO_x – 200 ppm, C_nH_m – 100 ppm, дымность – 1,0 в случае применения газообразного топлива и 4,0 для жидкого топлива.

Метод определения дымности продуктов сгорания в данном случае носит название “Метод Бакарак”, единица измерения дымности – “Бакарак” (согласно *ASTM D2156*). Согласно методу отбор пробы продуктов сгорания производится фильтрационным методом. При этом регламентируется прокачивание $36,9 \pm 1,65$ л (при 16 °С и давлении 101 кПа) через каждые 645 мм^2 поверхности фильтра. Измерения проводят через один час работы прибора при температуре окружающей среды 20 ± 10 °С.

Фильтр после испытаний *визуально* сравнивается с эталонной шкалой пятен дымности различной степени почернения (шкала прикладывается к прибору). Эталонная шкала имеет единицу измерения – “номер”, а не единицу дымности как по шкале *Bosch*. Фильтру присваивается *номер пятна эталонной шкалы дымности*, которое (пятно) ближе всего по степени зачернения к фильтру. Номер присваивается дискретно от 0 до 9 без дополнительной градации на десятые доли. Если фильтр темнее, чем номер 9, то в протоколе пишут “более номера 9”.

Единицы дымности по шкале Бакарак и шкале Bosch – это разные единицы измерения, и сравнивать их между собой нельзя.

Метод измерения дымности Бакарак используется при испытаниях газотурбинных установок (согласно ГОСТ Р ИСО 11042-1-2001 “Установки газотурбинные. Методы определения выбросов вредных веществ”). Однако в этом стандарте рекомендуется при оценке затемнения фильтра в интервале от 0 до 4 единиц Бакарак производить оценку градации промежуточных значений с возможной точностью в десятых долях (также визуально).

В конце 1960-х гг. подобный метод применялся для оценки дымности ОГ дизелей. В этом случае значение предела дымления почти совпало с данными, приведенными на рис. 1.2 и 1.3 (25 против 17,5 %). Причем дымность ОГ определялась тремя способами: бумажный фильтр, через который пропустили пробу ОГ, либо оценивали визуально (т. е. оценивали *по цвету*), либо просвечивали на фотоскопе (т. е. оценивали *непрозрачность*), либо взвешивали до и после испытаний (т. е. оценивали *массу* отложившихся частиц). В последнем случае способ превзошел гравиметрический метод оценки эмиссии дисперсных частиц, в том числе и по обеспечению изокинетичности газоотбора (неравенство скоростей основного потока ОГ и потока пробы ОГ в газоотборной трубке – не более 10 ... 20 %), и по постоянству объема отбираемой пробы ОГ, и по охлаждению пробы ОГ (до 105...110 °С, не допуская разрушения фильтра из-за высокой температуры и вследствие конденсации паров воды).

Контрольные вопросы

1. Химический метод измерения и принципиальная схема прибора для измерения концентрации оксидов азота в отработавших газах ДВС.
2. Химический метод измерения и принципиальная схема прибора для измерения концентрации оксида углерода в отработавших газах ДВС.
3. Химический метод измерения и принципиальная схема прибора для измерения концентрации суммарных углеводородов в отработавших газах ДВС.
4. Полнопоточный и неполнопоточный методы измерения дымности отработавших газов дизелей.
5. Оптический метод измерения и принципиальная схема прибора для измерения дымности отработавших газов.
6. Что такое эффективная база дымомера и как она влияет на результаты измерения?
7. Необходимость стабилизации температуры и давления пробы отработавших газов в измерительной камере.
8. Фильтрационный метод измерения и принципиальная схема прибора для измерения дымности отработавших газов.
9. Гравиметрический метод измерения концентрации дисперсных частиц в отработавших газах.

10. Какой метод измерения содержания дисперсных частиц в отработавших газах дизелей является стандартным?

11. Какие существуют типы оборудования для измерения содержания дисперсных частиц в ОГ дизелей в соответствии с действующими стандартами?

12. Принципиальная схема полнопоточного “туннеля”.

13. Принципиальная схема неполнопоточного “туннеля”.

14. Для чего обеспечивается температура смеси ОГ с воздухом не выше 52 °С?

15. Что такое термостатирование пробы и для чего это нужно?

16. Являются ли отработавшие газы аэрозолями?

17. Каков принцип работы счетчика Коултера?

18. Методы измерения размера и количества дисперсных частиц в отработавших газах ДВС.

19. Присутствуют ли в отработавших газах бензиновых и газовых ДВС дисперсные частицы?

20. Метод измерения дымности продуктов сгорания топливных обогревательных приборов, устанавливаемых в транспортных средствах.

21. Единицы измерения дымности Бакарак и область применимости этого метода.

22. Различие между единицами измерения дымности по шкалам *Bosch* и Бакарак.

23. Различие между гравиметрическим методом измерения содержания в отработавших газах дисперсных частиц и фильтрационным методом измерения дымности отработавших газов.

Рекомендуемая литература к главе

1. **Введенский, А.А.** Способ качественной оценки степени дымности выхлопных газов дизеля / А.А. Введенский, А.К. Синицын, М.Л. Насоновский // Доклады МИИСП, Т. IV, вып. 2. – М. : МИИСП, 1967. – С. 113 – 119.

2. **Гетманец, Г.В.** Социально-экологические проблемы автомобильного транспорта : справ. пособие / Г.В. Гетманец, В.А. Лиханов. – М. : АСПОЛ, 1993. – 330 с.

3. ГОСТ Р ИСО 11042-1-2001 “Установки газотурбинные. Методы

определения выбросов вредных веществ.” – М. : Стандартинформ, 2002. – 38 с.

4. **Звонов, В.А.** Оценка и контроль выбросов дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей / В.А. Звонов [и др.] ; под ред. В.А. Звонова. – М. : Прима-Пресс-М, 2005. – 312 с.

5. **Игнатович, И.В.** Квалиметрический метод оценки токсичности двигателей / И.В. Игнатович, В.Ф. Кутенев, Г.Н. Рытвинский // Вестник машиностроения. – 1991. – № 7. – С. 9 – 12.

6. **Кульчицкий, А.Р.** Токсичность автомобильных и тракторных двигателей : учеб. пособие / А.Р. Кульчицкий. – М. : Академический проект, 2004. – 400 с. – ISBN 5-8291-0387-7.

7. **Столяров, Б.В.** Руководство к практическим работам по газовой хроматографии : учеб. пособие / Б.В. Столяров, И.М. Савинов, А.Г. Виттенберг ; под ред. проф. Б.В. Иоффе. – Л. : Химия, 1978. – 288 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Достоверная оценка экологического уровня двигателей и объектов, на которые установлены двигатели, возможна только при строгом соблюдении требований международных и/или национальных стандартов, которые регламентируют процедуру проведения испытаний, применяемые средства измерения и методику расчета. При этом нельзя применять стандарты, ориентированные на одни объекты, для оценки других.

Достоверное определение уровня эмиссии вредных веществ с отработавшими газами и дымности отработавших газов – залог разработки целенаправленных мероприятий по улучшению характеристик отдельных систем двигателя и двигателя в целом. Но во избежание экономически неоправданных затрат при проведении доводочных работ на конкретном объекте необходим учет действующих требований к экологическому уровню именно в том регионе, куда планируется поставка.

Учет вышеуказанных требований позволяет в первую очередь определить стратегию доводки: либо это будет связано с совершенствованием рабочего процесса двигателя (в том числе с применением альтернативных топлив), либо – с системами дополнительной обработки отработавших газов: нейтрализаторами и противосажевыми фильтрами.

Но необходимо отметить и другую сторону подобных требований – они стали средством конкурентной борьбы за рынки сбыта соответствующей продукции. Обеспечение строгих экологических норм невозможно без значительных финансовых затрат, направленных как на совершенствование самих ДВС, так и на обновление технологического парка предприятий. Кто не в состоянии нести такое финансовое бремя, тот теряет право на выпуск продукции.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Общие понятия

ВВ	— Вредные вещества: газообразные и дисперсные (<i>Pollutant Emission, Gaseous Pollutants, Particulate Matter</i>)
Влажные ОГ	— Отработавшие газы, влагосодержание которых соответствует полному составу продуктов сгорания топлива
Возгонка	— Процесс превращения твердого вещества в газообразное, минуя жидкое состояние
Дисперсные частицы (PM)	— Вещества, у которых можно измерить геометрические размеры, т. е. жидкие и твердые (<i>Particulate Matter</i>), в ОГ ДВС: твердые – сажа, продукты износа деталей, зола и кокс топлива, сульфаты и углеводороды с углеродным числом более C ₁₇ , жидкие – углеводороды с углеродным числом от C ₅ до C ₁₇ включительно
Конденсация	— Процесс превращения газообразного вещества в твердое или жидкое состояние
Нормальные условия (н.у.)	— Соответствуют состоянию окружающей среды 760 мм рт. ст. и 0 °С
ОГ	— Отработавшие газы (<i>Exhaust Gases</i>)
Омологация	— Утверждение (от франц. – <i>homologation</i> ; английский синоним – <i>approval</i>)
ПДК (TLV)	— Предельно-допустимая концентрация (<i>Threshold Limit Value</i>) – концентрация вредного вещества на рабочем месте, которая не окажет вредного воздействия на организм при 8-часовом ежедневном режиме работы и 40-часовой рабочей неделе в течение всего рабочего стажа
Стандартные условия	— Условия, оговоренные каким-либо стандартом, например по ГОСТ 18509 “Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний”: атмосферное давление равно 101,3 кПа, температура воздуха – 20 °С, относительная влажность воздуха – 50 %

Сублимация	— То же что и возгонка
Сухие ОГ	— Отработавшие газы, влагосодержание которых меньше или равно равновесному при температуре 298 К и атмосферном давлении 101,3 кПа
<i>ABT</i>	— <i>Averaging, Banking, Trading</i> – осреднение показателей партии однотипной продукции по каким-либо показателям; возможность превышения норм отдельными объектами за счет лучших характеристик других объектов аналогичной продукции; предоставление вышеуказанной возможности
<i>CAFÉ</i>	— <i>Corporate Average Fuel Economy</i> – средняя норма расхода топлива для выпускаемой продукции (завода). В США <i>CAFÉ</i> = 27,5 мили/галлон = 8,55 л/100 км для легковых автомобилей и 20,3 мили/галлон = 11,6 л/100 км для легких грузовиков
<i>Clean Air Act (CAA)</i>	— “Закон о чистом воздухе” – документ, принятый в США в 1963 г. с целью ограничения выбросов в атмосферу вредных веществ с отходящими газами промышленных предприятий; в 1970 г. документ был дополнен аналогичными положениями, касающимися автотранспорта
<i>COP</i>	— <i>Conformity of Production</i> – проверка производства
<i>Cold Start</i>	— “Холодный старт” – запуск двигателя после выдержки автомобиля в течение 12...36 ч при постоянной температуре окружающей среды в диапазоне 20...30 °С, Однако в зависимости от климатических условий указанный температурный диапазон может быть от – 30 до + 30 °С
<i>CVS</i>	— <i>Constant Volume Sample</i> – система отбора проб отработавших газов при постоянном объеме
<i>EC</i>	— <i>Elemental Carbon</i> – элементарный углерод – сажа, т. е. вещество, состоящее только из углерода
<i>Engine-out</i>	— Концентрация ВВ на выходе из двигателя (в случае наличия какой-либо системы обработки отработавших газов измерение проводится до нее)
<i>Exhaust Emission</i>	— Выбросы вредных веществ с отработавшими газами двигателя или автомобиля
<i>GVWR</i>	— <i>Gross Vehicle Weight Ratings</i> – полная масса автомобиля

<i>LHV</i>	— <i>Lower Heating Value of Fuel</i> – низшая теплотворная способность [топлива]
<i>NMHC</i>	— <i>Non-Methane Hydrocarbons</i> – смесь углеводородов за исключением метана
<i>NMOG</i>	— <i>Non-Methane Organic Group</i> – органические соединения, за исключением метана
<i>OC</i>	— <i>Organic Carbon</i> – органический углерод – углерод, входящий в состав молекул сложных веществ: углеводородов, спиртов ... (кроме оксида углерода)
<i>Smoke Emission</i>	— Дымность отработавших газов
<i>SOF</i>	— <i>Soluble Organic Fraction</i> – растворимая органическая фракция – составляющая дисперсных частиц, представляющая собой углеводороды, содержащиеся в отработавших газах в результате неполного сгорания углеводородов топлива и смазочного масла, которые способны конденсироваться при понижении температуры ОГ вследствие перемешивания с воздухом
<i>TA</i>	— <i>Type Approval</i> – специально подготовленный к испытаниям объект (сертификация типа [объекта])
<i>TC</i>	— <i>Total Carbon</i> – суммарный углерод – сумма органического (<i>OC</i>) и элементарного (<i>EC</i>) углерода
<i>THC (C_nH_m, ΣCH_x)</i>	— <i>Total Hydrocarbons</i> – суммарные углеводороды
<i>TPM</i>	— <i>Total Particulate Matter</i> – дисперсные частицы
<i>USOF</i>	— Нерастворимая фракция дисперсных частиц: углерод (сажа), твердые сульфаты, зола и кокс топлива, продукты износа деталей
<i>VOF (VOC)</i>	— <i>Volatile Organic Fraction (Components)</i> – летучие органические фракции (компоненты): сумма всех углеводородов за вычетом метана и этана

Уровни норм на содержание вредных веществ в ОГ

<i>EEV</i>	— <i>Enhanced Environmental Vehicle</i> – автомобиль, мало загрязняющий окружающую среду
------------	--

- EZEV (PZEV)* — *Equivalent (Partial)-Zero-Emission Vehicle* – транспортные средства с нулевой (близкой к нулевой) токсичностью. Фактически соответствуют уровню *SULEV*, но оговаривают более жесткие требования к испарению топлива и долговечности, В этом случае в качестве моторной установки используется электродвигатель, но учитываются выбросы вредных веществ на предприятии по выработке электроэнергии, причем именно того количества электроэнергии, которое необходимо для функционирования соответствующего типа транспортного средства
- LEV* — *Low-Emission Vehicle* – малотоксичные транспортные средства
- SULEV* — *Super-Ultra-Low-Emission Vehicle* – транспортные средства с супернизкими выбросами вредных веществ
- TLEV (ILEV)* — *Transient (Inherently) Low-Emission Vehicle* – транспортные средства с экологическим уровнем, переходным к малотоксичному уровню *LEV*
- ULEV* — *Ultra-Low-Emission Vehicle* – транспортные средства с ультранизкими выбросами вредных веществ
- ZEV* — *Zero-Emission Vehicle* – транспортные средства с нулевой токсичностью, т. е. использующие в качестве моторной установки электродвигатель

Испытательные циклы

- ELR* — *European Load Response test* – Европейский цикл нагружения для оценки дымности ОГ на переходных режимах (по методике Евро-3, 4 и 5)
- ESC* — *European Steady [state] Cycle* – Европейский цикл испытаний на установившихся режимах
- ETC* — *European Transient Cycle* – Европейский цикл испытаний на переходных режимах по оценке выброса вредных веществ с ОГ
- EUDC* — *Extra Urban Driving Cycle* – загородный ездовой цикл

<i>FTP</i>	— <i>Federal Test Procedure</i> – Федеральный испытательный цикл (США)
<i>HDDT</i>	— <i>Heavy Duty Diesel Trucks test</i> – цикл испытаний большегрузных дизельных автомобилей (<i>EPA</i>)
<i>NEDC</i>	<i>New European Drive Cycle</i> – новый европейский ездовой цикл, состоит из двух циклов – <i>UDC</i> и <i>EUDC</i>
<i>NRTC</i>	— <i>Non-Road Transient Cycle</i> – обобщенный испытательный цикл на переходных режимах внедорожных машин для определения содержания в ОГ дисперсных частиц
<i>UDC</i>	— <i>Urban Driving Cycle</i> – городской ездовой цикл
<i>WHTC</i>	— <i>World Harmonized Transient Cycle</i> – Всемирный цикл испытаний дизелей, предназначенных для внедорожной самоходной техники на переходных режимах

Автотранспортные средства

<i>ATC</i>	— Автотранспортные средства
<i>I/M</i>	— <i>Inspection and Maintenance Program</i> – программа проверки и ремонта двигателей и автотранспортных средств в условиях эксплуатации, в том числе – оценка выбросов CO, CH и NOx
<i>LCV (LDT)</i>	— <i>Light Commerce Vehicle (Light Duty Trucks)</i> – автомобили для коммерческих перевозок (легкие грузовики) – транспортные средства, предназначенные для перевозки грузов и имеющие полную массу не более 3,5 т
<i>MDT</i>	— <i>Medium Duty Trucks</i> – средние грузовики – транспортные средства, предназначенные для перевозки грузов и имеющие полную массу более 3,5 т, но не более 12 т
<i>HDT</i>	— <i>Heavy Duty Trucks</i> – большегрузные автомобили – транспортные средства с полной массой более 12 т
<i>Non-Road Vehicle</i>	— Транспорт, не предназначенный для перемещения по поверхности земли

<i>Off-Road Vehicle</i>	— Внедорожный транспорт – транспорт, предназначенный для перемещения по поверхности земли вне транспортных магистралей
<i>Recreational</i>	— Прогулочные средства передвижения: мотоциклы, снегоходы, внедорожные автомобили и др.
<i>Road Vehicle</i>	— Транспорт, предназначенный для движения по дорогам (к этой категории относятся и автомобили повышенной проходимости – легковые с четырьмя ведущими колесами)

Двигатели

ДВС (ICE)	— Двигатель внутреннего сгорания (<i>Internal Combustion Engine</i>)
Турбояма (Turbo Lag)	— Время задержки от момента впрыска топлива в камеру сгорания двигателя с турбонаддувом с целью увеличения частоты вращения коленчатого вала до момента обеспечения турбокомпрессором подачи в камеру сгорания соответствующего количества воздуха
CI	— <i>Compression Ignition</i> – двигатель с самовоспламенением от сжатия (дизель или двигатель с HCCI-процессом)
DI	— <i>Direct Injection</i> – двигатель с непосредственным впрыскиванием топлива
HCCI	— <i>Homogenos Charge Compression Ignition</i> – двигатель с самовоспламенением гомогенного заряда от сжатия
IDI	— <i>Indirect Injection</i> – дизель с предкамерой (вихрекамерный или предкамерный)
Intercooler	— Охладитель наддувочного воздуха
Injector	— Форсунка
NA	— <i>Naturally Aspirated</i> – двигатель со свободным впуском воздуха в цилиндры
SI	— <i>Spark Ignition</i> – двигатель с принудительным воспламенением

- SIDI* — *Spark Ignition Direct Injection* – двигатель с принудительным воспламенением и впрыскиванием топлива непосредственно в камеру сгорания
- TC* — *Turbocharged* – двигатель с турбонаддувом

Международные организации

- CARB* — *California Air Resources Board* – Калифорнийский отдел защиты воздушного бассейна
- ECE*
(*ЭК ООН*) — *Economic Commission for Europe* – Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций
- EEC* — *European Environmental Consul* – Совет Европы по защите окружающей среды
- EPA* — *Environmental Protection Agency* – Агентство по защите окружающей среды (в США)
- ISO* — *International Standards Organization* – Международная организация по стандартизации
- MVEG* — *Motor Vehicle Emission Grope* – группа по разработке мероприятий, связанных с улучшением экологических характеристик автомобилей
- PNGV* — *Partnership for a New Generation of Vehicles* – Содружество по созданию автомобилей нового поколения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Болтинский, В.Н.** Теория, конструкция и расчет тракторных и автомобильных двигателей / В. Н. Болтинский. – М. : Изд-во с.-х. лит., журн. и плакатов, 1962. – 392 с.

2. **Гальговский, В.Р.** Развитие нормативов ЕЭК ООН по экологии и формирование высокоэффективного транспортного дизеля. Ч. 1 / В. Р. Гальговский, В. А. Долецкий, Б. М. Малков ; Ярослав. гос. техн. ун-т. – Ярославль, 1996. – 172 с. – ISBN 5-230-15322-9.

3. **Гетманец, Г.В.** Социально-экологические проблемы автомобильного транспорта : справ. пособие / Г. В. Гетманец, В. А. Лиханов. – М. : АСПОЛ, 1993. – 330 с.

4. **Горбунов, В.В.** Токсичность двигателей внутреннего сгорания : учеб. пособие / В.В. Горбунов, Н.Н. Патрахальцев ; Рос. ун-т дружбы народов. – М. : Изд-во Рос. ун-та дружбы народов, 1998. – 214 с. – ISBN 5-209-00912-2.

5. **Звонов, В.А.** Оценка и контроль выбросов дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей / В.А. Звонов [и др.] ; под ред. В. А. Звонова. – М. : Прима-Пресс-М, 2005. – 312 с.

6. **Игнатович, И.В.** Квалиметрический метод оценки токсичности двигателей / И.В. Игнатович, В.Ф. Кутенев, Г.Н. Рытвинский // Вестник машиностроения. – 1991. – № 7. – С. 9 – 12.

7. **Кавтарадзе, Д.Н.** Автомобильные дороги в экологических системах / Д. Н. Кавтарадзе [и др.]. – М. : ЧеРо, 1999. – 240 с. – ISBN 5-88711-106-2.

8. **Козлов, А.В.** Оценка выбросов вредных веществ автомобилями в условиях эксплуатации / А.В. Козлов // Автомобильная промышленность. – 1999. – № 2. – С. 37 – 40.

9. **Кульчицкий, А.Р.** Оценка дымности отработавших газов дизелей. Цикл ELR / А.Р. Кульчицкий, Ю.И. Честнов, В.Л. Петров // Автомобильная промышленность. – 2002. – № 6. – С. 23 – 25.

10. **Кульчицкий, А.Р.** Токсичность автомобильных и тракторных двигателей : учеб. пособие / А.Р. Кульчицкий. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М. : Академический проект, 2004. – 400 с. – ISBN 5-8291-0387-7.

11. Пути уменьшения вредности ОГ автомобильных двигателей / ЦИНТИМАШ, сер. XII Автомобилестроение. – М. : Изд-во ЦИНТИМАШ, 1962. – С. 38 – 97.

12. **Столяров, Б.В.** Руководство к практическим работам по газовой хроматографии : учеб. пособие / Б.В. Столяров, И.М. Савинов, А.Г. Виттенберг ; под. ред. проф. Б.В. Иоффе. – Л. : Химия, 1978. – 288 с.

13. **Фельдман, Ю.Г.** Гигиеническая оценка автомобильного транспорта как источника загрязнения атмосферного воздуха / Ю.Г. Фельдман. – М. : Медицина, 1975. – 160 с.

14. Health assessment document for diesel exhaust[^] ДВС/ Health / Diesel exhaust. – 2010 г.

15. Bushman Avontec. – URL: http://bushman.nm.ru/ecomap/avt_mos8.jpg (дата обращения : 07.06.2010).

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Превышение значений ПДК для атмосферного воздуха населенных пунктов [4]

Участок	Соединение	1988 г.		1989 г.	
		обочина	100 м	обочина	100 м
МКАД, 101 км	CO	3,47	0,73	5,03	1,06
	NO _x	22,62	4,74	45,61	9,56
	C _n H _m	0,40	0,08	0,63	0,13
	C	1,78	0,37	3,32	0,70
МКАД, 7 км	CO	11,23	4,50	5,89	2,36
	NO _x	77,13	30,93	47,89	19,2
	C _n H _m	1,35	0,54	0,66	0,26
	C	7,82	3,14	3,58	1,43
Ярославское шоссе, санаторий, “Подлипки”	CO	3,24	1,98	3,55	2,17
	NO _x	13,30	8,16	18,30	11,17
	C _n H _m	0,34	0,21	0,35	0,21
	C	2,19	1,33	2,86	1,74
Ярославское шоссе, 36 км	CO	2,53	0,62	1,20	0,29
	NO _x	11,73	2,85	7,67	1,96
	C _n H _m	0,27	0,06	0,11	0,03
	C	1,78	0,43	1,51	0,37
Ярославское шоссе, Новая деревня	CO	0,83	0,45	2,15	1,18
	NO _x	3,80	2,10	10,13	5,58
	C _n H _m	0,07	0,04	0,21	0,12
	C	0,08	0,04	2,23	1,23
Санитарная зона, внутрихозяйственная дорога	CO	0,05	0,02	0,13	0,06
	NO _x	0,19	0,08	0,63	0,25
	C _n H _m	0,006	0,002	0,18	0,007
	C	0,002	0,0006	0,0	0,0

Примечание. Данные двадцатилетней давности. В настоящее время концентрация выброса вредных веществ в отработавших газах двигателей ниже, однако интенсивность движения возросла существенно. В связи с чем ожидать улучшения экологической ситуации в придорожных зонах не приходится.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Время существования ряда химических соединений в атмосфере [10]

Реагент 1	Реагент 2				
	ОН	O ₃	NO ₃	HO ₂	hν (свет)
NO ₂	1,3 дня	12 ч	24 мин	2 ч	2 мин
NO	2,5 дня	1 мин	1,2 мин	20 мин	-
HNO ₃	110 дней	-	-	-	-
SO ₂	16 дней	Более 200 лет	Более 1,4 млн лет	Более 600 лет	-
NH ₃	90 дней	-	-	-	-
Пропан	12 дней	Более 7000 лет	-	-	-
n-бутан	5,6 дня	Более 4500 лет	3,6 дней	-	-
n-октан	1,9 дня	-	1,2 года	-	-
Этилен	1,9 дня	9 дней	1,2 года	-	-
Пропилен	7 ч	1,5 дня	6 дней	-	-
Ацетилен	19 дней	6 лет	Более 5,6 лет	-	-
Формальдегид	1,9 дня	Более 2 лет	34 дня	23 дня	4 ч
Ацетальдегид	0,6 дня	Более 7 лет	20 дней	-	60 ч
Бензальдегид	1,2 дня	-	24 дня	-	-
Акролеин	0,6 дня	60 дней	-	-	-
Бензен	11 дней	600 лет	Более 6,4 лет	-	-
Толуол	2,5 дня	300 лет	3,6 года	-	-
Фенол	6 ч	-	8 мин	-	-
Нафталин	6,8 ч	Более 80 дней	1,5 года	-	-
Пирен	2,9 ч	-	120 дней	-	-

Примечания: данные о времени существования соединений приведены для следующих концентраций реагентов 2:

- ОН: средняя за 12 ч концентрация $1,6 \cdot 10^6$ молекул / см³;
- O₃: средняя за 24 ч концентрация $7 \cdot 10^{11}$ молекул / см³;
- NO₃: средняя за 12 ч концентрация $5 \cdot 10^8$ молекул / см³;
- HO₂: средняя за 12 ч концентрация 10^8 молекул / см³;
- hν: световой поток при нахождении солнца в зените.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Экологическая классификация автомобильной техники в зависимости от уровня выбросов вредных (загрязняющих) веществ (Приложение № 2 к специальному техническому регламенту "О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ")

Экологический класс	Категории и подгруппы автомобильной техники	Нормативные документы, устанавливающие требования к экологическим характеристикам автомобильной техники и /технические нормативы выбросов
0	<p>M₁, M₂ максимальной массой не более 3,5 т, N₁ с бензиновыми двигателями</p> <p>M₁ максимальной массой свыше 3,5 т, M₂, M₃, N₁, N₂, N₃ с дизелями</p> <p>M₁ максимальной массой свыше 3,5 т, M₂, M₃, N₂, N₃ с бензиновыми двигателями</p>	<p>Правила ЕЭК ООН № 83-02, уровень выбросов А</p> <p>Правила ЕЭК ООН № 49-01</p> <p>СО - 85 г/кВт·ч, С_мН_п - 5 г/кВт·ч, NO_x - 17 г/кВт·ч (9-режимный испытательный цикл)</p>
1	<p>M₁, M₂ максимальной массой не более 3,5 т, N₁ с бензиновыми двигателями и дизелями</p> <p>M₁ максимальной массой свыше 3,5 т, M₂, M₃, N₁, N₂, N₃ с газовыми двигателями и дизелями</p> <p>M₁ максимальной массой свыше 3,5 т, M₂, M₃, N₂, N₃ с бензиновыми двигателями</p>	<p>Правила ЕЭК ООН № 83-02, уровни выбросов В, С соответственно</p> <p>Правила ЕЭК ООН № 49-02, уровень выбросов А</p> <p>СО - 72 г/кВт·ч, С_мН_п - 4 г/кВт·ч, NO_x - 14 г/кВт·ч (9-режимный испытательный цикл)</p>
2	<p>M₁, M₂ максимальной массой не более 3,5 т, N₁ с искровыми двигателями (бензиновыми, газовыми) и дизелями</p> <p>M₁ максимальной массой свыше 3,5 т, M₂, M₃, N₁, N₂, N₃ с газовыми двигателями и дизелями</p>	<p>Правила ЕЭК ООН № 83-04, уровни выбросов В, С, D соответственно</p> <p>Правила ЕЭК ООН № 49-02, уровень выбросов В</p>

Экологический класс	Категории и подгруппы автомобильной техники	Нормативные документы, устанавливающие требования к экологическим характеристикам автомобильной техники и /технические нормативы выбросов
2	M ₁ максимальной массой свыше 3,5 т, M ₂ , M ₃ , N ₂ , N ₃ с бензиновыми двигателями	СО - 55 г/кВт·ч, С _м Н _п - 2,4 г/кВт·ч, NO _x - 10 г/кВт·ч (при испытаниях по Правилам ЕЭК ООН № 49-03, испытательный цикл ESC)
3	<p>M₁, M₂ максимальной массой не более 3,5 т, N₁ с искровыми двигателями (бензиновыми, газовыми) и дизелями</p> <p>M₁ максимальной массой свыше 3,5 т, M₂, M₃, N₁, N₂, N₃ с газовыми двигателями и дизелями</p> <p>M₁ максимальной массой свыше 3,5 т, M₂, M₃, N₁, N₂, N₃ повышенной проходимости с дизелями</p> <p>M₁ максимальной массой свыше 3,5 т, M₂, M₃, N₂, N₃ с бензиновыми двигателями</p>	<p>Правила ЕЭК ООН № 83-05, уровень выбросов А</p> <p>Правила ЕЭК ООН № 49-04, уровень выбросов А</p> <p>Правила ЕЭК ООН № 96-01</p> <p>СО - 20 г/кВт·ч, С_мН_п - 1,1 г/кВт·ч, NO_x - 7 г/кВт·ч (при испытаниях по Правилам ЕЭК ООН № 49-03, испытательный цикл ESC)</p>
4	<p>M₁, M₂ максимальной массой не более 3,5 т, N₁ с искровыми двигателями (бензиновыми, газовыми) и дизелями</p> <p>M₁ максимальной массой свыше 3,5 т, M₂, M₃, N₁, N₂, N₃ с газовыми двигателями и дизелями</p>	<p>Правила ЕЭК ООН № 83-05, уровень выбросов В</p> <p>Правила ЕЭК ООН № 49-04, уровень выбросов В1</p>
5	<p>M₁ максимальной массой свыше 3,5 т, M₂, M₃, N₂, N₃ с бензиновыми двигателями</p> <p>M₁ максимальной массой свыше 3,5 т, M₂, M₃, N₁, N₂, N₃ с газовыми двигателями и дизелями</p>	<p>СО - 4 г/кВт·ч, С_мН_п - 0,55 г/кВт·ч, NO_x - 2 г/кВт·ч (при испытаниях по Правилам ЕЭК ООН № 49-03, испытательный цикл ETC)</p> <p>Правила ЕЭК ООН № 49-04, уровень выбросов В2, С</p>

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Разделение транспортных средств и дизелей внедорожной самоходной техники по категориям

1. Мопеды (двух- или трехколесные транспортные средства полной массой не более 400 кг, развивающие максимальную скорость не более 50 км/ч и имеющие двигатель рабочим объемом не более 50 см³).

2. Мотоциклы (двух- или трехколесные транспортные средства полной массой не более 400 кг, развивающие максимальную скорость более 50 км/ч и имеющие двигатель рабочим объемом более 50 см³).

3. Квадрициклы (четырёхколесные транспортные средства полной массой не более 400 кг – пассажирского назначения или 550 кг – грузового назначения, развивающие максимальную скорость более 50 км/ч и имеющие двигатель рабочим объемом более 50 см³).

4. Автомобили для перевозки пассажиров (*passenger cars – PC* – автомобили, предназначенные для перевозки пассажиров и вмещающие не более 8 пассажиров кроме водителя).

5. Легкие грузовики (*light duty vehicle – LDV* – транспортные средства, предназначенные для перевозки грузов и имеющие полную массу не более 3,5 т).

6. Средние грузовики (*medium duty vehicle – MDV*) – транспортные средства, предназначенные для перевозки грузов и имеющие полную массу более 3,5 т, но не более 12 т).

7. Тяжелые грузовики (*heavy duty vehicle – HDV* – транспортные средства с полной массой более 12 т);

8. Внедорожный самоходный транспорт – это транспорт, предназначенный и подходящий к движению по поверхности земли по или без дорог: строительная техника (включая колесные погрузчики, бульдозеры, гусеничные тракторы, гусеничные погрузчики, внедорожные грузовые автомобили, гидравлические экскаваторы), сельскохозяйственное оборудование, роторные культиваторы, лесное оборудование, самодвижущиеся сельскохозяйственные транспортные средства, оборудование для ручной обработки земли, вилочные погрузчики, компрессоры, строительно-дорожное оборудование (бульдозеры,

катки, асфальтоукладчики), снегоуборочное оборудование, грунтоукладчики аэропортов, самодвижущиеся лифты, мобильные краны. Двигатели этих транспортных средств разделяют по классу мощности (табл. П4).

9. Колесные тракторы – категория Т.

- категория Т1: колесные тракторы с максимальной расчетной скоростью не более 40 км/ч, с мостами, приближенными к приводному механизму, с минимальной шириной колеи не менее 1150 мм, с ненагруженной массой в рабочем режиме более 600 кг и дорожным просветом не более чем 1000 мм;

- категория Т2: аналогично категории Т1 за исключением минимальной ширины колеи – меньше 1150 мм; в отдельных случаях максимальная расчетная скорость ограничена значением 30 км/ч;

- категория Т3 – колесные тракторы с максимальной расчетной скоростью не более 40 км/ч с ненагруженной массой в рабочем режиме не более 600 кг;

- категория Т4 – специальные тракторы с максимальной расчетной скоростью не более 40 км/ч;

- категория Т5 – колесные тракторы с максимальной расчетной скоростью более 40 км/ч.

10. Гусеничные тракторы – категория С: гусеничные тракторы, которые приводятся в движение и управляются гусеничным трактом, чьи категории от С1 до С5 определяются по аналогии как от Т1 до Т5.

Разделение дизелей внедорожной самоходной техники по мощности (кВт)

Регион, нормы	Диапазоны мощностей								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Европа			18...37	37...75	75...130	130...560			
США*									
ЕРА	Меньше 8	8...19	19...37	37...75	75...130	130...250	225...450	450...560	Больше 560
Япония									
МОТ/ЕА			18...37	37...75	75...130	130...560			
МОС:									
- эт. 1		7,5...15	15...30		30...260				
- эт. 2		8...19	19...37	37...75	75...130				

Обозначения:

■ - отсутствие нормирования данного диапазона.

* - в США разбивка по классам мощности производится в лошадиных силах, а не в киловаттах. Согласно системе мер, принятой в США, 1 кВт = 1.341 л.с. (а не 1,360 л.с. согласно Европейской системе мер), что необходимо учитывать при пересчете значений удельных выбросов вредных веществ. Кроме того, разбивка в приведенной таблице несколько не совпадает с истинными значениями мощности, которые равны следующим значениям:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
л.с.	Меньше 11	11...25	25...50	50...100	100...175	175...300	300...600	600...750	Больше 750
кВт	Меньше 8,2	8,2...18,6	18,6...37,2	37,2...74,4	74,4...130,5	130,5...229,7	229,7...459,4	459,4...559,3	Больше 559,3

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Сроки введения норм на экологический уровень двигателей и транспортных средств

Таблица П5.1

Дизели внедорожной самоходной техники

Регион, нормы	Диапазоны мощностей								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Европа									
-эт. 1				1999	1999		1999		
-эт. 2			2001	2004	2002		2001		
-эт. 3А			2005	2008	2007		2006		
-эт. 3В				2012	2011		2011		
США									
-эт. 1	2000	2000	2000	1998	1997		1996		
-эт. 2	2005	2005	2005	2004	2003	2003	2001	2002	2000
-эт. 3				2008	2007		2006		
-эт. 4		2008	2013	2012...2014	2011...2014		2011...2014		
Япония									
MOT/EA			2003	2003	2004		2004		
MOC:									
-эт. 1				1996					
-эт. 2			2005						

Примечание: все указанные сроки могут быть отсрочены на два года при условии, что двигатели были произведены до указанной даты. Может быть разрешена продажа двигателей, утвержденных на основе предшествующих стандартов, при условии, что эти двигатели предназначены в качестве сменных для установки на транспортные средства, находящиеся в эксплуатации, и что нет технической возможности обеспечить выполнение указанных норм. В США нормы – это средняя величина для годового выпуска двигателей определенной категории.

Сроки введения норм для дизелей автотранспортных средств полной массой более 3,5 т

Уровни норм Правил ЕЭК ООН № 49	Удельные выбросы вредных веществ, г/(кВт ч); дымность ОГ, м ⁻¹ / % Hartridge						
	NO _x	CO	C _n H _m	NMHC	CH ₄	PM ⁵	N
Евро-1 (до 01.10.1995 г.): мощность ≤ 85 кВт мощность > 85 кВт	8,0 / 9,0 ¹ 8,0 / 9,0 ¹	4,5 / 4,9 ¹ 4,5 / 4,9 ¹	1,1 / 1,23 ¹ 1,1 / 1,23 ¹	- -	- -	0,36 / 0,40 ¹ 0,61 / 0,68 ¹	- -
Евро-2 (с 01.10.1995 г.) Евро-3 (с 01.10.2000 г.): циклы ESC и ELR цикл ETC	7,0 5,0 5,0	4,0 2,1 5,45	1,1 0,66	- 0,78	- 1,6	0,15 / 0,25 ¹ 0,10 (0,13) ² 0,16 / 0,21	- 0,8 / 29,0
Евро-4 (с 01.10.2005 г.): циклы ESC и ELR цикл ETC	3,5 3,5	1,5 4,0	0,46	0,55	1,1	0,02 0,03	0,5 / 20,0
Евро-5 (с 01.10.2008 г.): циклы ESC и ELR цикл ETC	2,0 2,0	1,5 1,5	0,25	0,55	1,1	0,02 0,03	0,5 / 6,0
Евро-6 (с 01.04.2013 г.): циклы ESC и ELR цикл ETC	0,4 0,4	1,5 1,5	0,13	0,16 ³	0,5	0,02 0,01	

Примечания: 1. ¹ – в числителе – нормы для проверки типов (специально подготовленных) ДВС, в знаменателе – для проверки серийного производства; ² – в скобках даны нормативы для дизелей с $i/U_i < 0,7$ л и $n_{ном} > 3000$ об/мин.
2. Двигатели, предназначенные для установки на транспортные средства с полной массой не более 3,5 т, испытываются в составе транспортного средства (Правила ЕЭК ООН № 15-05 и 83-02). 3. Для уровня норм Евро-3: цикл ESC предназначен для дизелей, не имеющих дополнительных средств нейтрализации ОГ, а цикл ETC – для дизелей, имеющих дополни-

тельные средства нейтрализации (противосажевый фильтр и/или нейтрализатор оксидов азота) и газовых ДВС. Для уровня норм Евро-4 и выше циклы ESC/ELR и ETC применяются для всех дизелей. 4. Международной комиссией внесены дополнительные предложения, касающиеся норм уровня Евро-6: ограничить концентрацию аммиака NH₃ в ОГ уровнем 10 ppm; дополнительно к измерению эмиссии дисперсных частиц PM гравиметрическим методом проводить измерение количества частиц в ОГ с целью учета ультрамелких частиц (которые не задерживаются фильтрами при гравиметрическом методе); вместо циклов ESC и ETC ввести испытательные циклы WHSC и WHTC; ввести дополнительное ограничение по выбросам диоксида азота NO₂ (выделив их из нормируемой суммы NO₂ + NO = NO_x). 5. Срок действия норм (в километрах и годах – что наступит ранее) для автомобилей разных категорий и с различной полной массой:

Категории автомобилей	Евро-4... Евро-5	Евро-6
N1 и M2	100000 км / 5 лет	160000 км / 5 лет
N2, N3 (не более 16 т), M3 (классы I, II, A и B не более 7,5 т)	200000 км / 6 лет	300000 км / 6 лет
N3 (более 16 т), M3 (классы III и B более 7,5 т)	500000 км / 7 лет	700000 км / 7 лет

Нормы на дизели грузовых автотранспортных средств (HD; США)¹

Год выпуска модели	Удельный выброс вредного вещества, г/кВтч					Дымность ОГ, % Hartridge
	C _n H _m	CO	NO _x	C _n H _m +NO _x	PM ⁴	
1970	-	-	-	-	-	40 / 20 / -
1974	-	54,4	-	21,76	-	
1979	2,04	34	-	13,6	-	
1985 ³	1,8	21,08	14,55	-	-	
1988 ³	1,8	21,08	14,55	-	0,82	
1990	1,8	21,08	8,16	-	0,82	
1991	1,8	21,08	6,8	-	0,34	
1993	1,8	21,08	6,8	-	0,34/0,14	
1994	1,8	21,08	6,8	-	0,14/0,10	
1996	1,8	21,08	6,8	-	0,14/0,07	
1998	1,8	21,08	5,44	-	0,14/0,07	
2004	1,8	21,08	-	3,26 ²	0,14/0,07	20 / 15 / 50

Обозначения: ¹ – для автомобилей полной массой свыше 19,500 фунтов; ² – с учетом только неметановых углеводородов; ³ – цикл испытаний был изменен со стационарных режимов на переходные: в 1985 г. для измерения газообразных компонентов, в 1988 г. для измерения PM; ⁴ – нормы по выбросам PM: в числителе – для грузовых автомобилей, в знаменателе – для автобусов).

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Испытательные циклы

Таблица П6.1

Коэффициенты весомости режимов испытательных циклов двигателей внедорожной самоходной техники (ISO-8178-4)

Режим	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Нагрузка (%)	100	75	50	25	10	100	75	50	25	10	0	
Скорость	Номинальная						Промежуточная					xx _{min}
Циклы типа С "Двигатели внедорожных транспортных средств и промышленные"												
C1	0,15	0,15	0,15	-	0,10	0,10	0,10	0,10	-	-	0,15	
C2	-	-	-	0,06	-	0,02	0,05	0,32	0,30	0,10	0,15	
Циклы типа D "Двигатели постоянной скорости"												
D1	0,30	0,50	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	
D2	0,05	0,25	0,30	0,30	0,10	-	-	-	-	-	-	
Циклы типа G "Двигатели коммунального применения" мощностью менее 20 кВт												
G1	-	-	-	-	-	0,09	0,20	0,29	0,30	0,07	0,05	
G2	0,09	0,20	0,29	0,30	0,07	-	-	-	-	-	0,05	
G3	0,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,10	
Циклы типа F "Двигатели локомотивов"												
F	0,25	-	-	-	-	-	-	-	0,15	-	0,60	
Циклы типа E "Двигатели морских и речных судов"												
E1	0,08	0,11	-	-	-	-	0,19	0,32	-	-	0,30	
E2	0,20	0,50	0,15	0,15	-	-	-	-	-	-	-	

Окончание табл. Пб.1

Режим	1	2	3	4	5
Е3					
Нагрузка, %	100	75	50	25	-
Скорость, %	100	91	80	63	-
Коэффициент весомости	0,2	0,5	0,15	0,15	-
Е4					
Нагрузка, %	100	80	60	40	0
Скорость, %	100	71,6	46,5	25,3	0
Коэффициент весомости	0,06	0,14	0,15	0,25	0,4
Е5					
Нагрузка, %	100	75	50	25	0
Скорость, %	100	91	80	63	0
Коэффициент весомости	0,08	0,13	0,17	0,32	0,3

Примечание. Циклы: С1 – для дизелей, С2 – для ДВС с искровым воспламенением мощностью более 20 кВт; D2 – для ДВС, работающих в составе электрических установок; G1 – для ДВС переносных агрегатов, работающих на переменных скоростных режимах; G2 – для ДВС переносных агрегатов, работающих на номинальном скоростном режиме; G3 – для ДВС переносных агрегатов, работающих на номинальном скоростном режиме.

Таблица Пб.2

Европейские испытательные циклы

Номер режима	Правила ЕЭК ООН №96-01 ¹			Правила ЕЭК ООН № 49-02 ²		
	Скорость, %	Нагрузка, %	К _в	Скорость, %	Нагрузка, %	К _в
1	$n_{НОМ}$	100	0,15	xx_{min}	0	0,0833 / 0,15
2	$n_{НОМ}$	75	0,15	n_{max} / A	10 / 100	0,08 / 0,08
3	$n_{НОМ}$	50	0,15	n_{max} / B	25 / 50	0,08 / 0,10
4	$n_{НОМ}$	10	0,10	n_{max} / B	50 / 75	0,08 / 0,10
5	n_{max}	100	0,10	n_{max} / A	75 / 50	0,08 / 0,05
6	n_{max}	75	0,10	n_{max} / A	100 / 75	0,25 / 0,05
7	n_{max}	25	0,10	xx_{min} / A	0 / 25	0,0833 / 0,05
8	xx_{min}	0	0,15	$n_{НОМ} / B$	100	0,1 / 0,09
9	-	-	-	$n_{НОМ} / B$	75 / 25	0,02 / 0,10
10	-	-	-	$n_{НОМ} / C$	50 / 100	0,02 / 0,08
11	-	-	-	$n_{НОМ} / C$	25	0,02 / 0,05
12	-	-	-	$n_{НОМ} / C$	10 / 75	0,02 / 0,05
13	-	-	-	xx_{min} / C	0 / 50	0,0833 / 0,05

Примечания: ¹ – аналогично ГОСТ 17.2.2.05-97, ГОСТ Р 17.2.2.07-2000 (для дизелей) и стандарту ЕРА (США); ² – аналогично ГОСТ Р 41.49-99 (в заменателе значения К_в для цикла ESC).

Испытательные циклы согласно стандартам Японии

Номер режима	6-ступенчатый цикл			13-ступенчатый цикл		
	Скорость, % XX _{min}	Нагрузка, %	К _в	Скорость, % XX _{min}	Нагрузка, %	К _в (Д / Б + Г)
1	XX _{min}	0	0,355	XX _{min}	0	0,205 / 0,157
2	40	100	0,071	40	20	0,037 / 0,036
3	40	25	0,059	40	40	0,027 / 0,039
4	60	100	0,107	XX _{min}	0	0,205 / 0,157
5	60	25	0,122	60	20	0,029 / 0,088
6	80	75	0,286	60	40	0,064 / 0,117
7	-	-	-	80	40	0,041 / 0,058
8	-	-	-	80	60	0,032 / 0,028
9	-	-	-	60	60	0,077 / 0,066
10	-	-	-	60	80	0,055 / 0,034
11	-	-	-	60	95	0,049 / 0,028
12	-	-	-	80	80	0,037 / 0,096
13	-	-	-	60	5	0,142 / 0,096

Примечания: 1. Обозначения – по табл. Пб.2; 2. Скоростной режим дан в процентах от номинального скоростного режима; 3. Д/(Б+Г) – для дизелей (Д) и ДВС, работающих на бензине (Б) и газообразном топливе (Г).

Испытательный цикл двигателей с искровым воспламенением (ГОСТ Р 17.2.2.07-2000)

Номер режима	Скорость, %	Нагрузка, %	К _в при рабочем объеме цилиндров, см ³						
			До 50	51...100	101...200	201...300	301...400	Свыше 400	
1	xx _{min}	0	0,03	0,003	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2	<i>n</i> _{НОМ}	100	0,30	0,27	0,23	0,19	0,15	0,10	0,10
3	0,85	100	0,25	0,22	0,18	0,16	0,13	0,10	0,10
4	<i>n</i> _{НОМ}	75	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
5	То же	50	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10
6	» »	25	-	-	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
7	» »	0	-	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
8	» »	100	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,20
9	0,6 <i>n</i> _{НОМ}	75	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10
10	То же	50	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10
11	» »	25	-	-	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
12	» »	0	-	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
13	xx _{min}	0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

Обозначения: по табл. Пб.2.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Нормативно-техническая документация по оценке выбросов вредных веществ с отработавшими газами и дымности отработавших газов

Таблица П7.1

Оценка выбросов вредных веществ с отработавшими газами

№ п/п	Номер и название НТД	Область распространения
1	ИСО-8178 (часть 4-я). Поршневые двигатели внутреннего сгорания. Изменение выброса продуктов сгорания	(См. прил. 6)
2	Правила ЕЭК ООН № 40. Единые предписания, касающиеся официального утверждения мотоциклов, оснащенных двигателем с принудительным зажиганием, в отношении выделяемых двигателем отработавших газов	Мотоциклы с бензиновыми ДВС
3	Правила ЕЭК ООН № 47. Единые предписания, касающиеся официального утверждения мопедов, оснащенных двигателем с принудительным зажиганием, в отношении выделяемых двигателем отработавших газов	Мопеды с бензиновыми ДВС
4	Правила ЕЭК ООН № 49-02. Единые предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия и двигателей, работающих на природном газе, а также двигателей с принудительным зажиганием, работающих на сжиженном нефтяном газе (СНГ), и транспортных средств, оснащенных двигателями с воспламенением от сжатия, двигателями, работающими на природном газе, и двигателями с принудительным зажиганием, работающими на СНГ, в отношении выделяемых ими загрязняющих веществ	Дизели, газодизели и газовые двигатели для АТС полной массой более 3,5 т и транспортные средства с эти-ми ДВС
5	Правила ЕЭК ООН № 83-02. Единые предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении выбросов загрязняющих веществ в зависимости от топлива, необходимого для двигателей	АТС: 1) полной массой не более 3,5 т (для перевозки грузов); 2) вмещающие не более 8 пассажиров

Окончание табл. П7.1

№ п/п	Номер и название НТД	Область распространения
6	Правила ЕЭК ООН № 96-01 (ГОСТ Р 41.96-2005). Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия, предназначенных для установки на сельскохозяйственных и лесных тракторах и внедорожной технике, в отношении выбросов загрязняющих веществ этими двигателями.	Дизели для сельскохозяйственных и лесных тракторов и внедорожной са-моходной техники номинальной мощ-ностью от 18 до 560 кВт
7	Директива № 97/68/ЕС, касающаяся измерения выбросов газообразных вред-ных веществ и частиц двигателями внутреннего сгорания, предназначенными для установки на внедорожный автомобильный транспорт	
8*	ГОСТ 17.2.2.03-87. Нормы и методы измерения содержания окиси углерода и углеводородов в отработавших газах автомобилями с бензиновыми двигателями	Автомобили полной массой свыше 400 кг с бензиновыми ДВС
9	ГОСТ 17.2.2.05-97. Нормы и методы определения выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйствен-ных машин	Тракторы, самоходные сельскохозяй-ственные, строительно-дорожные и коммунальные машины, а также дизе-ли эксплуатационной мощностью от 18 кВт и выше, предназначенные для этих машин
10	ГОСТ Р 17.2.2.07-2000. Поршневые двигатели внутреннего сгорания для малогабаритных тракторов и средств малой механизации. Нормы и методы измерения выбросов вредных веществ с отработавшими газами и дымности отработавших газов	Дизели и ДВС с искровым воспла-менением для малогабаритных трак-торов и средств малой механизации с эксплуатационной мощностью менее 18,0 и 19,0 кВт соответственно
11	ГОСТ Р 51249-99. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения	Дизели для судов и тепловозов промы-шленного назначения
12	ГОСТ 30574-98. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Измерение выбросов вредных веществ с отработавшими газами. Циклы испытаний	

Оценка дымности отработавших газов

№ п/п	Номер и название НТД	Область распространения
1	ИСО-8178 (часть 3 для установившихся режимов и часть 9 для переходных режимов). Поршневые ДВС. Измерение выброса продуктов сгорания	(См. прил. 6)
2	Директива 77/537/ЕЕС, касающаяся измерения дымности ОГ дизелей, предназначенных для установки на сельскохозяйственные и лесные тракторы	Дизели для тракторов на пневматических шинах
3	Правила ЕЭК ООН №24-03 Единые предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия автотранспортных средств с двигателями с воспламенением от сжатия в отношении выброса видимых загрязняющих веществ	Дизели для транспортных средств полной массой более 1 т
4	ГОСТ 17.2.2.01-84. Дизели автомобильные. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерения	Дизели для автомобилей
5	ГОСТ 17.2.2.02-98. Нормы и методы измерения дымности отработавших газов дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин	Трактора, самоходные сельскохозяйственные, строительно-дорожные и коммунальные машины, а также дизели эксплуатационной мощностью от 18 кВт и выше, предназначенные для этих машин
6*	ГОСТ 21393-75. Автомобили с дизелями. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерения	Автомобили с дизелями
7.	ГОСТ Р 51250-99. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Дымность отработавших газов	Дизели для судов и тепловозов и промышленного назначения

Примечания: директива 77/537/ЕЕС, регламентирующая дымность ОГ дизелей, предназначенных для применения на сельскохозяйственных и лесных тракторах, действует в Европе с 28 июня 1977 г., при этом под действие данного документа подпадают только тракторы, снабженные пневматическими шинами, и максимальная конструктивная скорость которых находится в пределах от 6 до 25 км/ч; * – указанные в табл. П7.1 и П7.2 стандарты распространяются на транспортные средства, находящиеся в эксплуатации. Остальные стандарты касаются оценки экологического уровня конструкции ДВС и/или транспортного средства.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ И ТОКСИЧНОСТЬ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ.....	5
§ 1. Режимы работы и характеристики ДВС.....	5
§ 2. Влияние режима работы ДВС на выброс вредных веществ с отработавшими газами в атмосферу.....	14
Контрольные вопросы	21
Рекомендуемая литература к главе	22
Глава 2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ДВС.....	23
§ 1. Испытательные лаборатории и нормативная документация.....	23
1.1. Общие положения.....	23
1.2. Структура стандартов.....	27
§ 2. Испытательные циклы по оценке выброса вредных веществ с отработавшими газами.....	33
2.1. Транспортные средства.....	33
2.2. Двигатели.....	39
§ 3. Испытательные циклы по оценке дымности отработавших газов дизелей.....	46
3.1. Испытания на переходных режимах.....	46
3.2. Испытания на установившихся режимах.....	53
Контрольные вопросы	55
Рекомендуемая литература к главе.....	55
Глава 3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ.....	57
§ 1. Измерение концентрации газообразных веществ.....	57
1.1. Оксид углерода.....	58
1.2. Оксиды азота.....	59
1.3. Суммарные углеводороды.....	61
1.4. Особенности измерений.....	63
§ 2. Измерение концентрации дисперсных частиц.....	65
2.1. Гравиметрический метод.....	66

2.2. Измерения количества и размера частиц.....	69
§ 3. Измерение дымности отработавших газов.....	72
3.1. Оптический метод.....	72
3.2. Фильтрационный метод.....	76
3.3. Область применимости методов.....	78
§ 4. Оценка состава продуктов сгорания топливных обогревательных приборов.....	78
Контрольные вопросы	80
Рекомендуемая литература к главе.....	81
 ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	 83
 УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ.....	 84
 БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	 91
 ПРИЛОЖЕНИЯ.....	 93

Учебное издание

КУЛЬЧИЦКИЙ Алексей Рэмович

ТОКСИЧНОСТЬ ПОРШНЕВЫХ ДВС.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
УРОВНЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

Учебное пособие

Редактор Е.А. Амирсейидова

Подписано в печать 06.05.11.
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 6,74. Тираж 100 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.