



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей»

Л.Н. Поклад
А.С. Сай
И.М. Флерко

**КОНТРОЛЬ ТОКСИЧНОСТИ
ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ
АВТОМОБИЛЕЙ**

Пособие для лабораторных работ

Минск
БНТУ
2011

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей»

Л.Н. Поклад
А.С. Сай
И.М. Флерко

КОНТРОЛЬ ТОКСИЧНОСТИ
ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЕЙ

Пособие для лабораторных работ
по дисциплине «Транспорт и окружающая среда»

Минск
БНТУ
2012

УДК 621.43.068–026.86:005.85(076.5)(075.8)

ББК 39.35–08н

П 48

Рецензенты:

А.С. Гурский, П.Н. Кишкевич

Поклад, Л.Н.

П 48 Контроль токсичности отработавших газов автомобилей: пособие для лабораторных работ по дисциплине «Транспорт и окружающая среда» / Л.Н. Поклад, А.С. Сай, И.М. Флерко. – Минск: БНТУ, 2012. – 34 с.

ISBN 978-985-525-737-1.

В пособии рассматривается влияние выбросов вредных веществ на окружающую среду, методы и средства контроля токсичности и дымности отработавших газов двигателей автомобилей в процессе эксплуатации, нормирование поэлементного состава отработавших газов, а также законодательные ограничения и пути снижения выбросов вредных веществ современными бензиновыми и дизельными автомобильными двигателями. Издание может быть использовано студентами, научными работниками и специалистами, которые занимаются охраной окружающей среды и экологическими проблемами в области автомобильного транспорта.

УДК 621.43.068–026.86:005.85(076.5)(075.8)

ББК 39.35–08н

ISBN 978-985-525-737-1

© Поклад Л.Н., Сай А.С.,
Флерко И.М., 2012

© БНТУ, 2012

Введение

Вместе с ростом населения увеличивается потребление природных ресурсов (нефти, газа, руды и т. п.). Сжигание огромного количества углеводородного топлива сопровождается большими выбросами в атмосферу различных токсичных веществ, теплоты и диоксида углерода (CO_2), что объясняет возникновение глобальных экологических проблем.

В настоящее время наблюдается резкий рост мирового автомобильного парка. Такая же тенденция просматривается и в Республике Беларусь. Это способствует тому, что автомобили становятся основным источником загрязнения атмосферы городов.

В развитых странах мира в результате соответствующих законодательных ограничений в последние 10–15 лет наблюдается устойчивая тенденция снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами автомобилей. Вследствие этого выпускаемые промышленностью автомобили становятся «чище», а их топливная экономичность заметно улучшается.

Лабораторная работа № 1

ПРОВЕРКА СОДЕРЖАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ АВТОМОБИЛЕЙ С БЕНЗИНОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

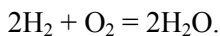
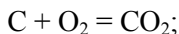
Цель работы: ознакомиться с методикой проверки состава токсичных веществ в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями и с устройством и принципом действия многокомпонентного газоанализатора концентрации оксида углерода (CO), диоксида углерода (CO₂), углеводородов (CH), кислорода (O₂) и оксидов азота (NO_x).

Оборудование и инструмент: легковой автомобиль с бензиновым двигателем, прибор «Автотестер-02 CO-CO₂-CH-NO_x-λ-T».

Общие положения

При работе двигателя внутреннего сгорания химическая энергия топлива преобразуется в тепловую энергию. Характер протекания реакций зависит от температуры и давления в камере сгорания, от способа образования рабочей смеси и способа ее воспламенения.

Теоретически предполагается, что при полном сгорании топлива в результате взаимодействия углерода и водорода с кислородом воздуха образуются углекислый газ и водяной пар. Реакции окисления при этом имеют вид



Однако вследствие очень сложных физико-химических процессов, протекающих внутри цилиндров двигателя, действующий состав отработавших газов (ОГ) является весьма разнообразным. В составе отработавших газов содержится около 300 веществ (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Ориентировочный состав основных компонентов отработавших газов автомобилей с бензиновым двигателем

Компоненты	Размерность	Пределы концентраций компонентов бензиновых двигателей
Азот, N	% объема	74–77
Кислород, O ₂		0,2–8,0
Пары воды, H ₂ O		3,0–13,5
Диоксид углерода, CO ₂		5,0–12,0
Углеводороды (суммарно), CH		0,2–3,0
Оксид углерода, CO		0,1–10,0
Оксид азота, NO _x		0,0–0,6
Альдегиды		0,0–0,2
Оксиды серы (суммарно), SO ₂	мг/м ³	0,0–0,003
Сажа		0,0–100
Бензапирен		0,0–25
Соединения свинца		0,0–60

Состав отработавших газов двигателей на примере легковых автомобилей без применения нейтрализации можно представить в виде диаграммы (рис. 1.1).

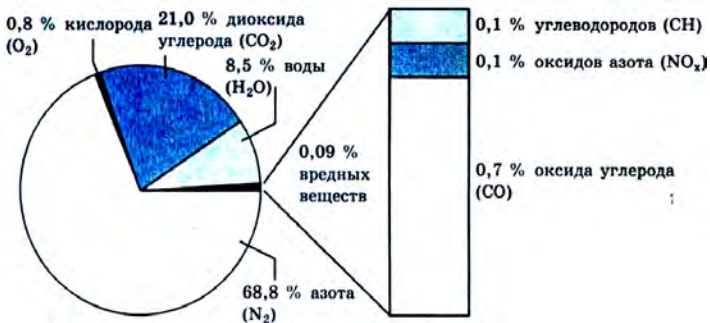


Рис. 1.1. Составные части отработавших газов без применения нейтрализации

Вещества, содержащиеся в отработавших газах, **по характеру воздействия на организм человека** можно разделить на ряд групп:

1. *Нетоксичные вещества* – азот, кислород, водород, водяной пар и диоксид углерода.

2. *Токсичные вещества* – оксид углерода (CO), оксиды азота (NO_x), углеводороды (C_nH_m, в дальнейшем – CH), альдегиды (R_xCHO), оксиды серы (SO₂) и твердые частицы.

3. *Особая группа* – полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), являющиеся канцерогенными веществами.

Токсичные вещества можно разделить на *нормируемые* и *ненормируемые*. К нормируемым вредным выбросам автомобилей с бензиновым двигателем относятся CO, CH и NO_x.

Оксид углерода (CO – угарный газ) – прозрачный, не имеющий запаха ядовитый газ, немного легче воздуха, плохо растворим в воде. Оксид углерода – продукт неполного сгорания топлива. В камере сгорания двигателя CO образуется при неудовлетворительном распыливании топлива, в результате холоднотопливных реакций, при сгорании топлива с недостатком кислорода. По содержанию CO в атмосферном воздухе судят о степени его загрязнения.

При воздействии CO на организм человека нарушаются функции центральной нервной системы, в результате кислородного голодания появляются слабость, головная боль, боли в области сердца, тошнота и рвота. Это происходит потому, что CO изменяет состав крови, способствует снижению образования гемоглобина, так как, вступая с ним в реакцию, нарушает окислительные процессы в организме. Поглощаемость CO кровью в 240 раз выше поглощаемости кислорода. При содержании в воздухе CO более 0,01–0,02 % (по объему) наблюдаются признаки отравления, а при 0,2–0,25 % через 25–30 минут наступает обморочное состояние. Повышенная концентрация CO опасна для водителей, так как в результате кислородного голодания снижается работоспособность организма, ослабляется внимание, замедляется реакция, что повышает возможность дорожно-транспортных происшествий.

Оксиды азота (NO, NO₂, N₂O, N₂O₃, N₂O₅) являются одними из наиболее токсичных компонентов отработавших газов. При нормальных атмосферных условиях азот представляет собой весьма инертный газ. При высоких давлениях и особенно температурах азот активно вступает в реакцию с кислородом и образуются оксиды азота NO (90 % всего количества NO_x).

На величину выброса NO_x значительное влияние оказывает температура в камере сгорания. Так, при повышении температуры от 2500 до 2700 К скорость реакции увеличивается в 2,6 раза, а при уменьшении от 2500 до 2300 К – уменьшается в 8 раз, т. е. чем выше температура, тем выше концентрация NO_x . Ранний впрыск топлива или высокое давление сжатия в камере сгорания также способствуют образованию NO_x .

Считается, что для организма человека оксиды азота примерно в 10 раз опаснее СО. Оксиды азота раздражающе воздействуют на слизистую оболочку глаз, носа, разрушают легкие человека, так как при движении по дыхательному тракту они взаимодействуют с влагой верхних дыхательных путей, образуя азотную и азотистую кислоты. Как правило, отравление организма человека NO_x проявляется не сразу, а постепенно, причем каких-либо нейтрализующих средств нет.

Оксиды азота представляют опасность для листьев деревьев. Азотная кислота вызывает сильную коррозию углеродистых сталей.

Углеводороды (C_nH_m : этан, метан, этилен, бензол, пропан, ацетилен и др.) – органические соединения, молекулы которых построены только из атомов углерода и водорода. В ОГ содержится более 200 различных СН. Углеводороды имеют приятный запах.

Наличие СН в ОГ двигателей объясняется тем, что смесь в камере сгорания является неоднородной, поэтому у стенок, в переобогащенных зонах, происходит гашение пламени и обрыв цепных реакций. Содержание СН в ОГ возрастает при дросселировании, при работе двигателя в режимах принудительного холостого хода (например, при торможении двигателем). При работе двигателя в указанных режимах ухудшается процесс смесеобразования (перемешивания топливовоздушного заряда), уменьшается скорость сгорания, ухудшается воспламенение и, как результат, возникают его частые пропуски.

Углеводородные соединения оказывают наркотическое воздействие на центральную нервную систему, могут являться причиной хронических заболеваний, а некоторые ароматические СН обладают отравляющими свойствами.

Назначение прибора

Газоанализатор «АВТОТЕСТЕР» (в дальнейшем – прибор) предназначен для одновременного определения содержания оксида углерода, диоксида углерода, углеводорода, кислорода, оксидов азота, а также для определения частоты вращения коленчатого вала и вычисления λ -параметра в отработавших газах автомобилей. Прибор может применяться для проверки токсичности отработавших газов при техническом осмотре автомобилей, на автопредприятиях, на станциях технического обслуживания.

Прибор предназначен для работы в следующих **условиях эксплуатации**:

- температура окружающей среды от 0 до 40 °С;
- атмосферное давление от 86,6 до 106,7 кПа;
- относительная влажность – 95 % при $t = 30$ °С и более низких температурах без конденсации влаги;
- рабочее положение прибора – горизонтальное с допусаемым отклонением ± 20 градусов;
- питание прибора от сети постоянного тока напряжением $(12,6 \pm 2)$ В или сети переменного тока 220 В, 50 Гц от выносного блока питания;
- температура анализируемой смеси на штуцере «ВХОД» не более 50 °С.

Прибор обеспечивает следующие **режимы измерений и функциональные возможности**:

- измерение концентрации оксида углерода, диоксида углерода, углеводородов, кислорода, оксидов азота, частоты вращения коленчатого вала автомобиля с любым числом цилиндров, вычисление λ -параметра и индикации, вывод результатов измерений на принтер в виде протокола данных;
- автоматическую коррекцию нуля при включении прибора и в дальнейшем по требованию без отключения пробозаборной системы от выхлопной трубы автомобиля;
- автоматическое отделение и эвакуацию конденсата из пробы газа в системе пробоподготовки прибора;
- контроль потока пробы и компенсацию изменений атмосферного давления.

Устройство пробоподготовки обеспечивает трехступенчатую очистку пробы газа от механических мешающих компонентов и влагоотделение путем использования:

- объемного термостойкого фильтра грубой очистки;
- каплеуловителя, совмещенного с объемным влагоотталкивающим фильтром тонкой очистки и отделением конденсата;
- целлюлозного фильтра сверхтонкой очистки.

Измеряемые компоненты, диапазоны измерений, цена единицы наименьшего разряда и пределы допускаемой основной погрешности приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Техническая характеристика прибора

Измеряемый компонент	Диапазон измерения	Цена деления	Участок диапазона измерения	Основная погрешность	
				абсолютная	относительная
Углеводороды	0–3000 ppm	10 ppm	0+400 ppm 400±3000 ppm	±20 ppm –	– ±5 %
Оксид углерода	0–7 %	0,01 %	0–4 % 4–7 %	±0,2 % –	– ±5 %
Диоксид углерода	0–16 %	0,1 %	0–16 %	±1 %	–
Кислород	0–21 %	0,1 %	0–4 % 4–21 %	±0,2 % –	– ±5 %
Оксиды азота	0–5000 ppm	10 ppm	0–1000 ppm 1000–5000 ppm	±50 ppm –	– ±5 %
λ-параметр	0,5–2,00	0,001	не нормируется		
Частота оборотов (мин ⁻¹)	0–500 5000–8000	10 100	0–8000	–	±2,5 %

Мощность, потребляемая в режиме измерения, не более 20 ВА.

Принцип действия и конструкция прибора

Принцип действия прибора основан на измерении величины поглощения инфракрасного излучения источника молекулами углеводородов, диоксида углерода и оксида углерода в областях 3,4; 4,25 и 4,7 мкм соответственно.

Концентрация кислорода определяется электрохимическим методом. В датчике кислорода содержатся измерительный и сравнительный электроды, находящиеся в электролите и отделенные от анализируемого газа полимерной мембраной. На измерительном электроде кислород, продиффундировавший через мембрану, электрохимически восстанавливается, и во внешней цепи возникает электрический ток, сила которого пропорциональна парциальному давлению кислорода в газе над мембраной.

Проба анализируемого газа отбирается из выхлопной трубы автомобиля пробозаборным зондом. В рукоятке зонда размещается фильтр грубой очистки, где происходит очистка газа от частиц сажи и аэрозолей. Далее проба газа направляется к прибору по трубке доставки.

Дальнейшая обработка пробы газа происходит в каплеуловителе, совмещенном с фильтром тонкой очистки пробы. В каплеуловителе (рис. 1.5) из пробы отделяется конденсат, который собирается в нижней части фильтра и удаляется компрессором конденсата через штуцер «СБРОС КОНДЕНСАТА». В фильтре сверхтонкой очистки производится окончательная очистка пробы газа от мешающих компонентов. Затем проба поступает в оптическую кювету узлов. Одновременная работа пары компрессоров обеспечивает скоростную доставку пробы газа от источника до оптической кюветы, а также непрерывное удаление конденсата из пробы.

Проба анализируемого газа поступает в проточную зеркальную кювету, где определяемые компоненты, взаимодействуя с излучением, вызывают его поглощение в соответствующих спектральных диапазонах. Поток излучения характерных областей спектра поочередно выделяется интерференционными фильтрами (3,4; 4,25 и 4,7 мкм) и преобразуется в электрические сигналы, пропорциональные концентрации углеводородов, диоксида углерода и оксида углерода.

Результаты измерения и информация для пользователя отображаются на буквенно-цифровых жидкокристаллических индикаторах. Для удобства работы с прибором в ночное время предусмотрена подсветка индикатора.

Для исключения дополнительной погрешности от изменения температуры окружающего воздуха и анализируемого газа фотоприемник и оптическая кювета защищены теплоизоляционными оболочками и термостатируются системами стабилизации.

Источником сигнала частоты вращения коленчатого вала двигателя автомобиля служит высоковольтный датчик индуктивного типа, устанавливаемый на один из высоковольтных проводов системы зажигания. Частота следования импульсов искрообразователя свечи одного из цилиндров двигателя измеряется и преобразуется микропроцессором в частоту вращения коленчатого вала независимо от числа цилиндров.

Прибор состоит из системы пробоотбора и пробоподготовки, блока преобразования и индикации.

Внешний вид, конструкция узлов прибора и схема его соединения приведены на рис. 1.2–1.6.

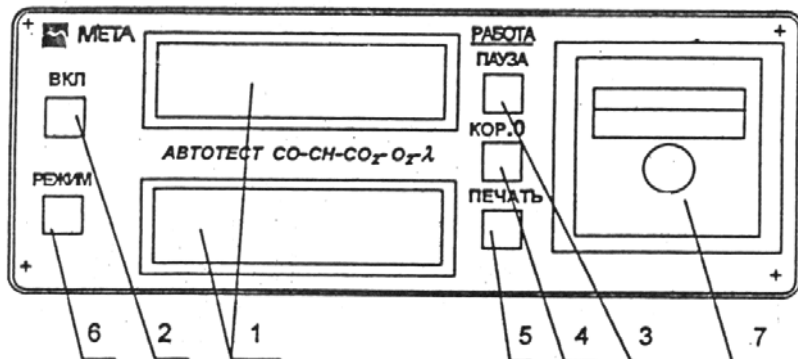


Рис. 1.2. Внешний вид прибора (передняя панель):
 1 – индикаторы; 2 – кнопка включения питания «ВКЛ»;
 3 – кнопка «РАБОТА/ПАУЗА»; 4 – кнопка «КОР. 0»;
 5 – кнопка «ПЕЧАТЬ»; 6 – кнопка «РЕЖИМ»; 7 – принтер

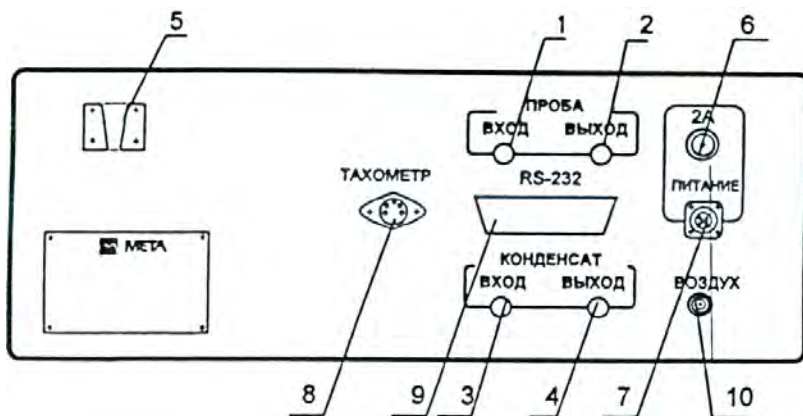


Рис. 1.3. Внешний вид прибора (задняя панель):

- 1 – штуцер подачи газа «ВХОД»; 2 – штуцер вывода газа «ВЫХОД»;
 3 – штуцер подачи конденсата «ВХОД»; 4 – штуцер вывода конденсата «ВЫХОД»;
 5 – крепление фильтра тонкой очистки; 6 – держатель предохранителя;
 7 – разъем питания; 8 – разъем тахометра;
 9 – разъем для подключения компьютера; 10 – штуцер подачи чистого воздуха

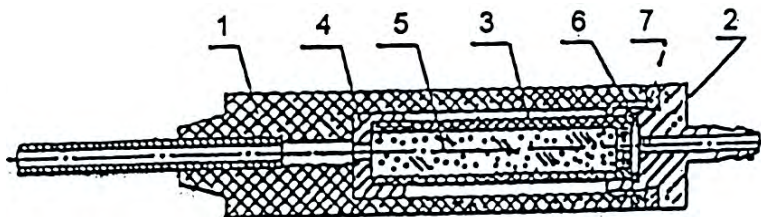


Рис. 1.4. Пробозаборник:

- 1 – рукоятка; 2 – штуцер; 3 – патрон; 4 – крышка патрона;
 5 – фильтрующий агент (стекловолокно); 6, 7 – прокладка

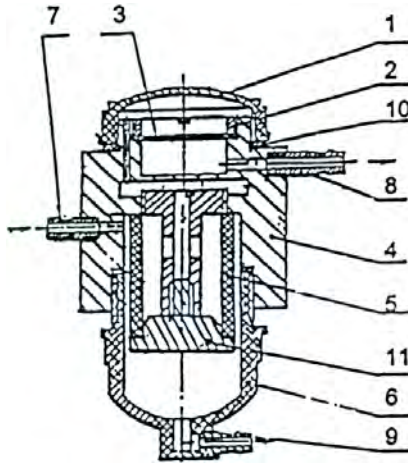


Рис. 1.5. Каплеуловитель:

- 1 – крышка; 2 – гайка крепежная; 3 – диск бумажного фильтра; 4 – корпус;
 5 – объемный фильтр; 6 – крышка нижняя; 7 – штуцер подачи газа «ВХОД»;
 8 – штуцер отбора пробы; 9 – штуцер отбора конденсата; 10 – прокладка;
 11 – держатель объемного фильтра

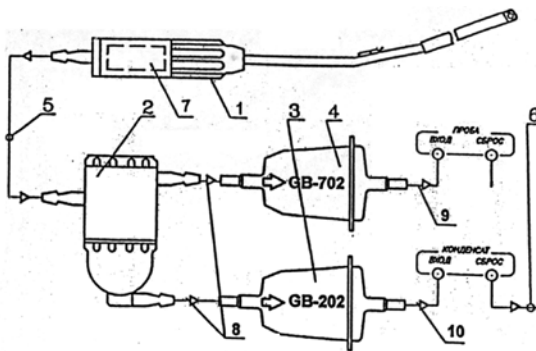


Рис. 1.6. Схема отбора и подготовки пробы газоанализатора «Автотестер»:

- 1 – пробозаборник; 2 – каплеуловитель; 3 – фильтр очистки конденсата;
 4 – фильтр тонкой очистки пробы; 5 – пробозаборная трубка;
 6 – трубка сброса конденсата; 7 – фильтр грубой очистки; 8 – трубка Т1 (30 мм);
 9 – трубка Т2 (150 мм); 10 – трубка Т3 (210 мм).

Общие указания по эксплуатации прибора

В процессе эксплуатации прибора необходимо соблюдать порядок включения и выключения прибора, своевременно производить замену фильтрующих элементов системы пробоподготовки. При большой разности температур в месте хранения и рабочем помещении полученный прибор выдерживают не менее 2 ч в нормальных условиях.

Назначение и функции кнопок прибора

Кнопка «РАБОТА/ПАУЗА» переводит прибор из режима непрерывного измерения в режим «ПАУЗА», отключает компрессоры, прибор находится в «горячем» резерве.

При нажатии кнопки на индикаторе прибора появится сообщение:

ГАЗОАНАЛИЗАТОР АВТОТЕСТ

ПАУЗА **

Через 4 секунды происходит отключение компрессоров прибора.

Для продолжения работы необходимо повторно нажать кнопку «РАБОТА/ПАУЗА». После этого прибор автоматически производит коррекцию нуля и переходит в режим измерения. Если прибор находился в режиме «ПАУЗА» менее 10 минут, то коррекция нуля не производится.

Кнопка «КОР. 0» переводит прибор в режим коррекции нулевых показаний. Коррекция выполняется автоматически по чистому воздуху.

Кнопка «Печать» предназначена для распечатки протокола текущего измерения на встроенном принтере прибора.

При нажатии кнопки или комбинации кнопок необходимо удерживать их, пока индикатор не погаснет.

Комбинация кнопок «РЕЖИМ» или «КОР. 0» + «ПЕЧАТЬ» изменяет режим отображения по каналу СН с единиц пропана C₃H₈

на гексан C_6H_{14} и наоборот. По умолчанию показания канала СН отображаются в единицах гексана. При показаниях в единицах пропана после значения СН отображается буква «р».

Чтобы отключить питание прибора необходимо нажать **комбинацию кнопок «КОР. 0» + «ПЕЧАТЬ»** и, не отпуская их, включить питание прибора. При этом автоматически производится продувка кюветы и коррекция нулевых показаний. Затем компрессоры отключаются. Данная комбинация кнопок используется только при проверке и калибровке прибора.

Комбинация кнопок «РАБОТА/ПАУЗА» + «ПЕЧАТЬ» включает компрессоры прибора для принудительной продувки кюветы в необходимых случаях (в проверочном режиме).

Меры безопасности

К работе с прибором допускаются лица, ознакомленные с инструкцией по эксплуатации.

Запрещается сброс анализируемой пробы или проверяемых газовых смесей в помещении. Перед проведением измерений на штуцер «СБРОС» необходимо надеть резиновую или полиэтиленовую трубку с внутренним диаметром не менее 5 мм, а второй конец трубки вывести за пределы помещения. Длина отводящей трубки не должна превышать 5 м.

При анализе отработавших газов автомобиля следует принять меры безопасности, исключая его самопроизвольное движение.

Подготовка прибора к работе

1. Установить прибор на горизонтальной поверхности.
2. Собрать систему пробоподготовки согласно схеме (см. рис. 1.6).
 - 2.1. Установить каплеуловитель в гнездо *б* на задней панели прибора (см. рис. 1.3).
 - 2.2. Подключить короткими трубками фильтры тонкой очистки *4* и *3* (см. рис. 1.6) к штуцерам каплеуловителя «ВЫХОД» пробы и «ВЫХОД» конденсата, а также к штуцерам «ВХОД» пробы и «ВХОД» конденсата соответственно, при этом соблюдать направление фильтров тонкой очистки в соответствии с указанными на корпусе фильтра стрелками.

2.3. Подключить короткую трубку к штуцеру «СБРОС» конденсата и отвести свободный конец трубки в направлении отвода конденсата.

2.4. Подключить кабель питания к гнезду питания. Ответные провода электрического кабеля питания подключаются к автомобилю следующим образом:

красный зажим – к клемме аккумулятора +12 В;

черный зажим – к клемме аккумулятора –12В.

2.5. К гнезду «ТАХОМЕТР» подключить кабель датчика тахометра, зажим которого закрепить на высоковольтном проводе одного из цилиндров. При этом необходимо, чтобы зажим не касался корпусных деталей двигателя.

ВНИМАНИЕ! Датчик тахометра снабжен гибким кабелем, не допускающим:

– касания к перегретым (более 100 °С) частям автомобиля;

– нагрузок на излом и разрыв оболочки более 10 кг;

– резких изломов кабеля и скручивания в петли радиусом менее 10 см.

3. К штуцеру «ВХОД» каплеуловителя подключить проботборный шланг с пробозаборником.

4. Установить рычаг переключения передач (переключатель скорости для автомобилей с автоматической коробкой передач) в нейтральное положение.

5. Затормозить автомобиль стояночным тормозом.

6. Заглушить двигатель (при его работе).

7. Перед измерением двигатель должен быть прогрет не ниже рабочей температуры охлаждающей жидкости или моторного масла для двигателей с воздушным охлаждением, указанной в руководстве по эксплуатации автомобиля.

8. Включить кнопку «ВКЛ» на передней панели прибора. На индикаторе появится сообщение

ПРОГРЕВ **

9. Прогрев прибора продолжается не более 10 минут.

10. Затем в течении 1 мин производится коррекция нуля:

КОРРЕКЦИЯ НУЛЯ

**

Сообщение

СЛАБЫЙ ПОТОК

сигнализирует о недостаточном расходе пробы анализируемого газа или необходимости замены фильтрующих элементов системы пробоподготовки. В этом случае необходимо выключить прибор и проверить его систему пробоподготовки.

11. На индикаторах прибора отображаются сообщения

CO X.XX%	TAX XXXX
CH XXXX	NO _x XXXX

O ₂ X.XX%
λ -.-.-

Для отображения концентрации диоксида углерода (CO₂) нажать комбинацию кнопок «РАБОТА/ПАУЗА» + «РЕЖИМ».

Тогда на индикаторах прибора будут отображаться сообщения

CO X.XX%	TAX XXXX
CH XXXX	NO _x XXXX

CO ₂ X.XX%	O ₂
λ -.-.-	20.8

Примечание. Основную информацию о качестве сжигания топлива несут O₂ и λ-параметр.

Если значение λ-параметра не входит в диапазон от 0,5 до 2, то на индикаторе отображается «-.-.-».

Порядок работы

1. Установить пробозаборник прибора в выпускную трубу автомобиля на глубину не менее 300 мм от среза (до упора) и зафиксировать его зажимом.

2. Полностью открыть воздушную заслонку.

3. Запустить двигатель. Увеличить частоту вращения вала двигателя до максимальной и проработать в этом режиме не менее 15 с.

4. Установить минимальную частоту вращения вала двигателя и проработать в этом режиме не менее 20 с.

При подключении датчика тахометра играет роль его положение относительно высоковольтного провода зажигания автомобиля. При нестабильных показаниях следует перевернуть датчик тахометра на 180° .

5. Считать показания концентраций измеряемых компонентов с индикатора на передней панели прибора и при необходимости распечатать их.

6. Установить повышенную частоту вращения вала до $P_{пов} = P_{ном} \cdot 0,8$ или до 3000 об/мин, если $P_{ном}$ не отражено в паспорте автомобиля. Произвести повторное измерение концентраций анализируемых газов.

Нормирование токсичности ОГ автомобилей с бензиновым двигателем

Уменьшение токсичности ОГ достигается в результате законодательного ограничения выбросов вредных веществ. С этой целью разработаны стандарты и правила, устанавливающие предельно допустимые нормы выбросов CO, CH и NO_x.

Впервые нормирование токсичности ОГ было введено в 1959 г. в штате Калифорния США. С 1970 г. Европейской экономической комиссией ООН рекомендованы единые для государств Европы Правила оценки токсичности ОГ (Правила № 5 и № 49). С 2000 г. в странах Европейского экономического сообщества выполняются Правила № 83.03, № 49 и № 24.

В Российской Федерации автомобили, находящиеся в эксплуатации, должны отвечать требованиям стандарта ГОСТ Р 52033–2003 «Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния».

Предельные значения токсичных компонентов в ОГ зависят от категории автомобиля, года выпуска, комплектации (системы нейтрализации и диагностирования) и приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Предельно допустимое содержание СО и СН в отработавших газах

Категория и комплектация автомобиля	Частота вращения коленчатого вала	Оксид углерода, объемная доля, %	Углеводороды, объемная доля, млн ⁻¹
Автомобили категорий М ₁ , М ₂ , М ₃ , N ₁ , N ₂ , N ₃ , произведенные до 01.01.1986 г.	$n_{\text{мин}}$	4,5	–
Автомобили категорий М ₁ , N ₁ , не оснащенные системами нейтрализации ОГ	$n_{\text{мин}}$	3,5	1200
	$n_{\text{пов}}$	2,0	600
Автомобили категорий М ₂ , М ₃ , N ₂ , N ₃ , не оснащенные системами нейтрализации ОГ	$n_{\text{мин}}$	3,5	2500
	$n_{\text{пов}}$	2,0	1000
М ₁ , N ₁ с двухкомпонентной системой нейтрализации ОГ	$n_{\text{мин}}$	1,0	400
	$n_{\text{пов}}$	0,6	200
М ₂ , М ₃ , N ₂ , N ₃ с двухкомпонентной системой нейтрализации ОГ	$n_{\text{мин}}$	1,0	600
	$n_{\text{пов}}$	0,6	300
М ₁ , N ₁ с трехкомпонентной системой нейтрализации ОГ и те же автомобили со встроенной (бортовой) системой диагностирования	$n_{\text{мин}}$	0,5	100
	$n_{\text{пов}}$	0,3	100
М ₂ , М ₃ , N ₂ , N ₃ с трехкомпонентной системой нейтрализации ОГ и те же автомобили со встроенной (бортовой) системой диагностирования	$n_{\text{мин}}$	0,5	200
	$n_{\text{пов}}$	0,3	200

В Республике Беларусь проверка токсичности автомобилей с бензиновыми двигателями, вновь изготовляемыми и находящимися в эксплуатации, осуществляется в соответствии с ГОСТ 17.2.2.03–87 «Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы измерения содержания оксида углерода и углеводородов в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями. Требования безопасности» с изменением № 1. Стандарт не распространяется на автомобили, полная масса которых менее 400 кг или максимальная скорость не превышает 50 км/ч, на автомобили с двухтактными и роторными двигателями.

Содержание углеводородов указывается в млн⁻¹ по принятому международному обозначению, при этом 1 % углеводородов соот-

ветствует $10\ 000\ \text{млн}^{-1}$. Такое обозначение принято в связи с тем, что при считывании показаний с приборов трудно оценивать малые значения процентного содержания углеводородов, например 0,1 или 0,01, в то же время 100 или $1000\ \text{млн}^{-1}$ более наглядно показывают динамику изменения показаний приборов.

В Республике Беларусь при проверке содержания токсичных веществ в отработавших газах следует пользоваться данными табл. 1.4.

Таблица 1.4

Предельно допустимое содержание токсичных компонентов в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями (Беларусь)

Частота вращения коленчатого вала, мин^{-1}	Предельно допустимое содержание оксида углерода, объемная доля, %	Предельно допустимое содержание углеводородов, объемная доля, млн^{-1} , для двигателей с числом цилиндров	
		до 4	более 4
$n_{\text{хх мин}}$	1,5	1200	3000
$n_{\text{хх пов}}$	2,0	600	1000

Результаты проведенных измерений следует занести в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Результаты измерений

№ п/п	Измеряемый параметр	Технические условия	Величина измеренного параметра
1	Предельно допустимое содержание оксида углерода, объемная доля, %: на $n_{\text{хх мин}}$ $n_{\text{хх пов}}$	1,5 2,0	
2	Предельно допустимое содержание углеводородов, объемная доля, млн^{-1} , для двигателей с числом цилиндров: на $n_{\text{хх мин}}$ до 4 более 4 $n_{\text{хх пов}}$ до 4 более 4	1200 3000 600 1000	
3	Состояние системы питания		
4	Состояние системы выпуска		

Лабораторная работа № 2

ПРОВЕРКА ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЕЙ С ДИЗЕЛЬНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Цель работы: ознакомиться с составом отработавших газов дизельных автомобилей, с методикой проверки дымности, с устройством и принципом действия дымомера.

Оборудование и инструмент: легковой автомобиль с дизельным двигателем, дымомер ДО-1.

Общие положения

Следствием особенностей смесеобразования и сгорания в дизельных автомобилях является сравнительно большой выброс сажи (табл. 2.1) и дыма.

Таблица 2.1

Ориентировочный состав основных компонентов отработавших газов автомобилей с дизельными двигателями

Компоненты	Размерность	Пределы концентраций компонентов дизельных двигателей
Азот, N	% объема	76–78
Кислород, O ₂		2,0–18,0
Пары воды, H ₂ O		0,5–10,5
Диоксид углерода, CO ₂		1,0–12,0
Углеводороды (суммарно), CH		0,01–0,50
Оксид углерода, CO		0,01–0,30
Оксид азота, NO _x		0,005–0,200
Альдегиды		0,0–0,06
Оксиды серы (суммарно), SO ₂	мг/м ³	0,0–0,015
Сажа		0,0–20 000
Бензапирен		0,0–10,0
Соединения свинца		–

Дымность (дым) – оптическая непрозрачность ОГ, которая вызвана наличием в них мельчайших частиц сажи, механических частиц, находящихся во взвешенном состоянии, несгоревших паров и капель топлива, масла и других аэрозолей.

Дымы – аэрозоли с размерами твердых частиц 0,1–10 мкм. Имеют различную окраску, которая зависит от компонентов, входящих в состав ОГ. Дым бывает белого, голубого (синего) и черного цветов.

Белый и голубой дымы – это топливо в капельной форме при одновременном наличии небольшого количества водяного тумана, являющегося продуктом конденсации и сгорания.

Белый дым появляется при холодном запуске двигателя в виде белого облака, выбрасываемого из выхлопной трубы после начала работы двигателя. Затем он исчезает по мере прогрева двигателя (по мере увеличения числа оборотов и при переходе к полной нагрузке).

Белый дым отличается от голубого размерами капель, причем если диаметр капель превышает длину волны голубого цвета, то капельки кажутся для глаза белыми. Белый и голубой дымы в зависимости от плотности имеют на просвет окраску от серой до коричневой, которая является прежде всего свойством капель (размеров капель) и не зависит от случайных оптических, физических или химических различий. Также в рабочем процессе двигателя принимает участие и смазочное масло, которое способствует образованию голубого дыма. Иногда такой дым называют «масляным дымом».

Образование белого и голубого дымов в значительной степени определяется температурным режимом двигателя, а также может зависеть от способа образования смеси и характеристики топлива.

Образование дыма от топлива всегда указывает на то, что топливо не получает в камере сгорания достаточного подвода тепла и поэтому не может полностью сгореть. Следовательно, выброс дыма от топлива будет тем больше, чем ниже температура в камере сгорания и в выхлопной трубе, в которой часть дыма образуется из-за того, что несгоревшее топливо, особенно перед пуском двигателя, попадает в нее, конденсируется там и после запуска двигателя превращается в дымный туман.

Черный дым состоит в основном из сажи и невидимых невооруженным глазом полиароматических углеводородов. Он представляет собой смесь несгоревших веществ, полученных в результате крекинга.

Повышенная дымность ОГ отрицательно воздействует на организм человека, растительный мир, здания и сооружения, ухудшает видимость, что отрицательно влияет на безопасность дорожного движения.

Сажа – твердый углеродный продукт (содержит свыше 90 % углерода).

В ОГ дизелей сажа находится в виде частиц разнообразной неправильной формы с линейными размерами 0,3–100 мкм. Большая часть сажевых образований имеет размер 0,4–5 мкм.

Образование сажи представляет собой процесс термического разложения (пиролиза) углеводородов в газовой фазе в условиях сильного недостатка (отсутствия) кислорода. Начало образования сажи зависит от многих факторов: температуры и давления в камере сгорания, вида топлива, состава топливоздушнной смеси (коэффициента избытка воздуха), конструктивных особенностей двигателя и др. Количество образовавшейся сажи в значительной степени зависит от температуры в зоне горения. С ростом температуры и давления это количество резко увеличивается. На образование сажи оказывают влияние также и свойства топлива. Чем выше отношение углерод/водород (С/Н) в топливе, тем больше выделяется сажи.

Сажа засоряет дыхательные пути, вызывает хронические заболевания носоглотки и легких (частицы размером 0,5–2 мкм задерживаются в легких). Сажа загрязняет воздух, ухудшает видимость на дорогах, и самое главное, частицы сажи адсорбируют на своей поверхности канцерогенные вещества, которыми являются полициклические ароматические углеводороды.

Устройство и принцип действия дымомера ДО-1

Дымомер ДО-1 (рис. 2.1) состоит из двух блоков: оптического детектора *б* и измерителя дымности *л*. Оптический детектор и измеритель дымности соединяются между собой с помощью кабеля *д*. Измеритель дымности подключается к сети переменного тока (напряжение 220 В частотой 50 Гц) или к сети постоянного тока (напряжение 12 или 24 В).

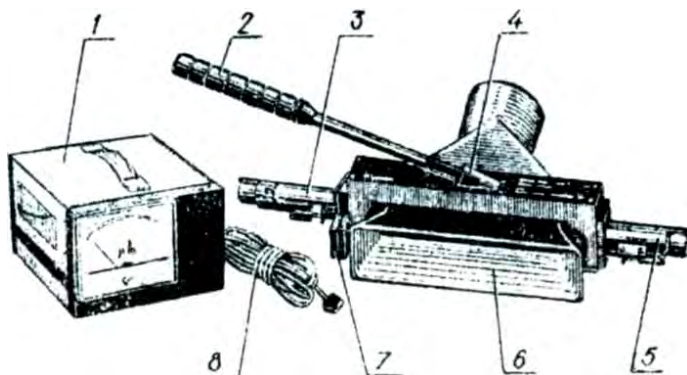


Рис. 2.1 Общий вид дымомера ДО-1:

- 1 – измеритель дымности; 2 – ручка; 3 – узел приемника; 4 – кронштейн;
 5 – узел излучателя; 6 – детектор оптический; 7 – оправа;
 8 – кабель соединительный

Оптический детектор 6 представляет собой патрубок с прямоугольным сечением в рабочей зоне. Патрубок выполнен в виде литого корпуса, с противоположных торцевых сторон которого на одной оптической оси расположены узел излучателя 5 и узел приемника 3 с их оптическими элементами.

Принцип работы дымомера основан на методе просвечивания отработавших газов дизельного двигателя. Измерение дымности проводится сравнительным методом по эталонному уровню дымности, который определяется коэффициентом пропускания светофильтра. В качестве источника света используют индикатор единственный АЛ 307 КМ с длиной волны (675 ± 5) нм (рис. 2.2).

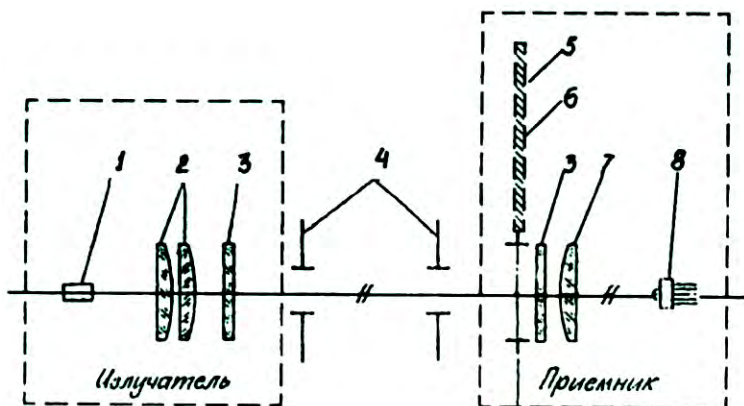


Рис. 2.2. Принципиальная оптическая схема дымомера ДО-1:
 1 – индикатор единственный АЛ 307 КМ; 2 – конденсор; 3 – стекло защитное;
 4 – диафрагма; 5 – заслонка; 6 – светофильтр; 7 – линза;
 8 – фотодиод ФД 263-01.У1.1

Свет от источника 1 формируется конденсором 2 в параллельный пучок, проходит через поток отработавших газов, попадает на линзу 7, которая собирает прошедший поток на фотоприемник 8. В качестве фотоприемника используют фотодиод ФД 263-01.У1.1.

По ходу луча перед линзой 7 устанавливают контрольный светофильтр 6 с коэффициентом пропускания $0,74 \pm 0,05$, который служит для контроля работы дымомера. Для защиты оптических элементов детектора устанавливают защитные стекла 3.

Оптический детектор служит для преобразования светового потока, проходящего через отработавшие газы, в электрические сигналы, а также для аэродинамического формирования потока отработавших газов с целью обеспечения постоянства фотометрической базы и эффективной защиты оптики.

Измеритель дымности (рис. 2.3) предназначен для пересчета электрического сигнала и приведения показаний индикатора «ДЫМНОСТЬ, %» к стандартной фотометрической базе, равной 0,43 м, а также для индикации температуры отработавших газов при достижении ими величины свыше $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Значение непрозрачности снимается по линейной шкале 4 в процентах.

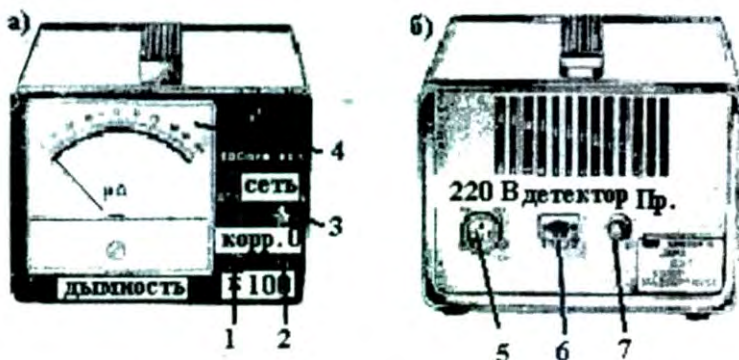


Рис. 2.3. Измеритель дымности:
а – вид спереди; *б* – вид сзади; 1 – ручка коррекции 0; 2 – ручка коррекции 100;
 3 – тумблер «СЕТЬ»; 4 – индикатор «ДЫМНОСТЬ»;
 5 – разъем для подключения к сети;
 6 – разъем для подключения к оптическому детектору; 7 – предохранитель

Технические данные дымомера ДО-1 указаны в табл. 2.2.

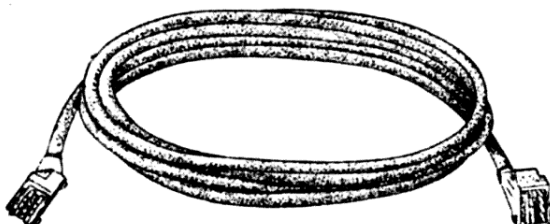
Таблица 2.2

Технические характеристики дымомера ДО-1

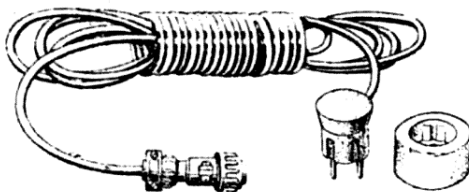
Предел допускаемых значений основной приведенной погрешности (от верхнего значения диапазона измерения), %	± 2
Диапазон измерения непрозрачности (дымности), %	0–100
Коэффициент пропускания контрольного светофильтра	$0,74 \pm 0,05$
Эффективная длина просвечивания, м	0,43
Напряжение питания (электросеть)	$\sim 220 \text{ В} / 50 \text{ Гц}$
Напряжение питания (бортовая сеть автотранспортного средства)	12 В / 24 В
Расстояние между детектором оптическим и измерителем дыма, мм	до 4,0
Габаритные размеры оптического детектора, мм	$555 \times 310 \times 255$
Габаритные размеры измерителя дыма, мм	$200 \times 190 \times 150$
Масса оптического детектора, кг	3,2
Масса измерителя дыма, кг	2,1

Подготовка дымомера к работе

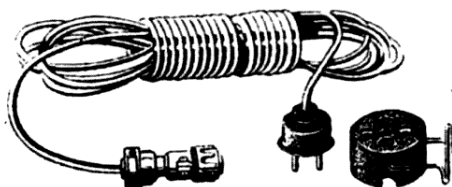
1. Соединить между собой оптический детектор и измеритель дыма с помощью кабеля 1 (рис. 2.4) через разъем 6 на измерителе дымности (см. рис. 2.3) и разъем, расположенный на оптическом детекторе со стороны приемника.



Кабель соединительный 1



Кабель сетевой 2



Кабель сетевой 3

Рис. 2.4. Соединительные кабели

2. Подключить измеритель дымности через разъем 5 (см. рис. 2.3) посредством кабеля 2 (см. рис. 2.4) к сети переменного тока или кабеля 3 к сети постоянного тока.

3. С помощью тумблера «СЕТЬ» 3 измеритель дымности включается в работу и прогревается.

4. На индикаторе «ДЫМНОСТЬ» 4 стрелка должна установиться около значения 0. В случае несоответствия показаний их следует откорректировать с помощью ручки коррекции 1. Для проверки готовности дымомера к работе необходимо также проверить соответствие показаний при полном перекрывании светового потока (индикатор «ДЫМНОСТЬ» должен показать величину 100). Для проверки правильности показаний необходимо ввести в зону специальную заслонку, расположенную в оправе 2 (рис. 2.5). Для этого потянуть за ручку оправы до появления цифры 2 и характерного щелчка. Индикатор «ДЫМНОСТЬ» должен показать величину 100. В случае несоответствия показаний необходимо откорректировать их с помощью ручки коррекции 2 (рис. 2.3).

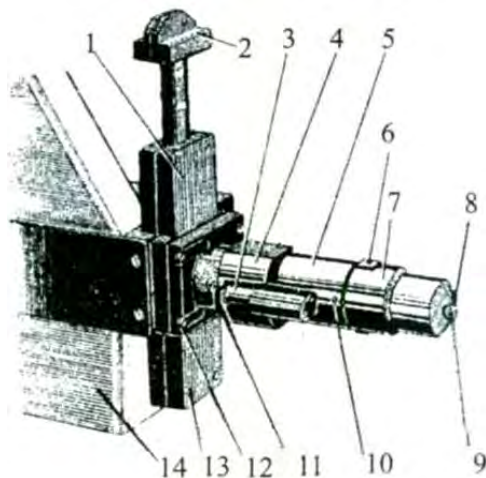


Рис. 2.5. Детектор оптического узла приемника:

- 1 – крышка; 2 – оправа заслонки; 3 – ползун; 4 – кронштейн;
5 – оправа конденсора; 6 – винт; 7 – стакан приемника; 8 – планка; 9 – винт;
10 – винт стопорный; 11 – выступ ползуна; 12, 13 – винты; 14 – корпус детектора

5. При невозможности установки на индикаторе «ДЫМНОСТЬ» значений 0 и 100 при питании дымомера от сети переменного тока вилку питания в розетке повернуть на 180°. Провести калибровку дымомера, для чего в оптический канал детектора ввести контрольный светофильтр, установленный в оправе 2 (см. рис. 2.5). Для введения светофильтра в зону необходимо переместить оправу (опустить ее вниз до появления цифры 1 и характерного щелчка). Индикатор «ДЫМНОСТЬ» должен показать величину дымности отработавших газов N в процентах с отклонением $\pm 2\%$ от верхнего значения диапазона измерения. Величина дымности должна соответствовать коэффициенту поглощения контрольного светофильтра, указанному в паспорте. Для дымомера, используемого в лабораторной работе, он составляет 39 %.

6. Вывести светофильтр из оптического канала в исходное положение. Измерение следует проводить после загорания индикатора «РАБОТА», указывающего на то, что температура отработавших газов превысила величину 70 °С.

Методика проведения измерений дымности

Для автомобилей с дизельными двигателями, находящимися в эксплуатации, применяется ГОСТ 21393–75 «Автомобили с дизелями. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерений. Требования безопасности» с изменением № 2. Стандарт распространяется также на автобусы с дизельными двигателями.

Основным нормируемым параметром дымности является натуральный показатель светового потока K (м^{-1}), а вспомогательным – коэффициент ослабления светового потока N (%).

Натуральный показатель светового потока K – величина, обратная толщине отработавших газов, проходя через который поток излучения от источника света ослабляется в «е» раз ($e = 2,718$ – основание натуральных логарифмов).

Коэффициент ослабления светового потока N представляет собой степень ослабления светового потока вследствие поглощения и рассеивания света отработавшими газами при прохождении ими рабочей трубы дымомера.

Измерения проводятся на неподвижно стоящем автомобиле с исправной системой выпуска отработавших газов и после подготовки дымомера к работе.

Для проведения измерений необходимо:

1. Установить оптический детектор на выхлопную трубу проверяемого автомобиля.
2. Подключить датчик частоты вращения коленчатого вала к двигателю.
3. Запустить двигатель и дождаться его прогрева до рабочей температуры.
4. Установить минимальную частоту вращения коленчатого вала двигателя.

Проведение измерений в режиме свободных ускорений. Перед началом измерений должна быть выполнена серия из шести циклов изменения частоты вращения коленчатого вала дизеля от минимальной до максимальной, которая осуществляется путем быстрого, но плавного нажатия на педаль подачи топлива (до упора) с интервалом не более 15 с. Затем проводится не менее четырех измерений следующего типа: быстро, но не резко нажимают на педаль управления подачей топлива и удерживают ее в нажатом положении 2–3 с, поддерживая постоянную частоту вращения. При этом измеряются пиковое значение натурального показателя ослабления светового потока K и частота вращения.

При каждом последующем измерении фиксируют пиковое значение натурального показателя ослабления светового потока K , когда четыре последовательных значения показателя располагаются в зоне шириной $0,25 \text{ м}^{-1}$ по шкале K , но не образуют убывающую последовательность. За результат измерения принимают среднее арифметическое значение результатов этих четырех измерений.

Проведение измерений в режиме максимальной частоты вращения. Измерения в этом режиме проводятся не позднее чем через 60 с после испытаний в режиме свободного ускорения. Плавно нажимают на педаль управления подачей топлива и удерживают ее в нажатом положении 2–3 с. Дымность измеряют не ранее чем через 10 с после впуска ОГ в прибор. Измерение считают достоверным, если значения дымности расположены в зоне шириной не более 6 % по шкале N . За результат измерений следует принимать среднее арифметическое значение крайних положений дымности.

Предельно допустимые показатели дымности при испытаниях автомобилей с дизелями по ГОСТ 21393–75 с изменениями № 2 указаны в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Допустимые нормы дымности для автомобилей
с дизельными двигателями

Режим измерения дымности	Предельно допустимое значение показателя $K_{\text{доп}}$, м^{-1}	Предельно допустимое значение показателя $N_{\text{доп}}$, %
Режим свободных ускорений для автомобилей с дизелями:		
– без наддува	1,2	40
– с наддувом	1,6	50
Режим максимальной частоты вращения	0,4	15

При контрольных проверках дымности ОГ при эксплуатации автомобиля (на дороге) нормы $K_{\text{доп}}$ для режима свободных ускорений, указанные в табл. 2.3, могут быть превышены, но не более чем на $0,5 \text{ м}^{-1}$.

Результат измерений и осмотра следует занести в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Результаты измерений и регулировок

№ п/п	Измеряемый параметр	Технические условия		Величина измеренного параметра или состояние системы
		Предельно допустимое значение показателя $K_{\text{доп}}$, м^{-1}	Предельно допустимое значение показателя $N_{\text{доп}}$, %	
1	Дымность ОГ в режиме свободных ускорений для автомобилей с дизелями: – без наддува – с наддувом			
		1,2	40	
		1,6	50	
2	Дымность ОГ в режиме максимальной частоты вращения	0,4	15	
3	Состояние системы питания			
4	Состояние системы выпуска			

Литература

1. Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы измерения содержания оксида углерода и углеводородов в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями. Требования безопасности: ГОСТ 17.2.2.03–87.
2. Автомобили с дизелями. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерений. Требования безопасности: ГОСТ 21393–75.
3. Поклад, Л.Н. Контроль токсичности отработавших газов автомобилей: лабораторные работы / Л.Н. Поклад, В.Ю. Климов. – Минск, 2003. – 58 с.
4. Савич, Е.Л. Обслуживание и ремонт легковых автомобилей / Е.Л. Савич, В.К. Ярошевич, А.С. Гурский. – Минск, 2005. – 258 с.
5. Экология и ресурсосбережение на транспорте / М.М. Болбас [и др.]. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2011. – 296 с.

Содержание

Введение.	3
Лабораторная работа № 1 ПРОВЕРКА СОДЕРЖАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ АВТОМОБИЛЕЙ С БЕНЗИНОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ.	4
Лабораторная работа № 2 ПРОВЕРКА ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЕЙ С ДИЗЕЛЬНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ.	21
Литература.	32

Учебное издание

ПОКЛАД Леонид Николаевич
САЙ Александр Сергеевич
ФЛЕРКО Иван Михайлович

КОНТРОЛЬ ТОКСИЧНОСТИ
ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЕЙ

Пособие для лабораторных работ
по дисциплине «Транспорт и окружающая среда»

Редактор В.О. Кутас
Компьютерная верстка А.Г. Занкевич

Подписано в печать 23.01.2012.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,98. Уч.-изд. л. 1,54. Тираж 100. Заказ 820.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.