



*Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования*

**МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-
ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)**

С.В. Шелмаков

**Экологическая сертификация
автотранспортных средств**

Учебное пособие

Москва, 2021

УДК 504:629.33:006.9
ББК 20.17:39.33:30.10
Ш444

Рецензенты:

зав. кафедрой «Автомобили» МАДИ, д-р техн. наук, проф.

Иванов А.М.;

науч. рук. Научно-исследовательского института автомобильного
транспорта (НИИАТ), канд. техн. наук

Донченко В.В.

Шелмаков, С.В.

Ш444 Экологическая сертификация автотранспортных средств:
учеб. Пособие / С.В. Шелмаков. – М.: МАДИ, 2021. – 204 с.

В учебном пособии представлена развёрнутая информация о принципах инструментальной оценки и методах экспериментального определения показателей, используемых для нормирования негативных воздействий автотранспортных средств на окружающую среду, принятых в России и Европе. Рассмотрены все Правила ЕЭК ООН, относящиеся к сфере экологической безопасности автотранспортных средств. Описаны принципы измерения показателей расхода топлива, выбросов загрязняющих веществ, внешнего шума, рециклируемости конструкции.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по направлениям подготовки 23.05.01 – Наземные транспортно-технологические средства, 23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов и 20.03.01, 20.04.01 – Техносферная безопасность, а также для преподавателей и специалистов, занимающихся вопросами транспортной экологии.

УДК 504:629.33:006.9
ББК 20.17:39.33:30.10

© МАДИ, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Определения	6
Сокращения	12
Введение	14
1. Общие сведения о системе экологической сертификации автотранспортных средств	15
1.1. Классификация транспортных средств	22
1.2. Эталонные условия проведения испытаний	24
1.2.1. Требования к комплектности и техническому состоянию АТС (ДВС)	25
1.2.2. Требования к используемым топливам, смазочным материалам и другим эксплуатационным жидкостям	25
1.2.3. Требования к атмосферным условиям	26
1.2.4. Требования к режимам движения АТС	28
1.2.5. Требования к режимам работы ДВС	33
2.1. Максимальная скорость, расход топлива, полезная мощность двигателя	46
2.1.1. Правила ЕЭК ООН №68 (максимальная скорость)	46
2.1.2. Правила ЕЭК ООН №84 (расход топлива)	49
2.1.3. Правила ЕЭК ООН №85 (мощность двигателя)	52
2.1.4. Правила ЕЭК ООН №101 (расход топлива и выбросы CO ₂)	55
2.2. Выбросы загрязняющих веществ	62
2.2.1. Правила ЕЭК ООН №24 (оценка дымности ОГ ДВСВС)	62
2.2.2. Правила ЕЭК ООН №40 (выбросы ЗВ с ОГ ДВСПВ двух- и трёхколёсных мотоциклов)	65
2.2.3. Правила ЕЭК ООН №47 (выбросы ЗВ с ОГ ДВСПВ мопедов)	67
2.2.4. Правила ЕЭК ООН №49 (выбросы ЗВ с ОГ ДВС для большегрузных АТС)	68
2.2.5. Правила ЕЭК ООН №83 (выбросы ЗВ с ОГ лёгких АТС)	92
2.2.6. Правила ЕЭК ООН №103 (сменные нейтрализаторы и фильтры для лёгких АТС)	112

2.2.7.	Правила ЕЭК ООН №132 (сменные/ретрофитные нейтрализаторы и фильтры для ДВСВС большегрузных АТС).....	113
2.3.	Акустическое (шумовое) излучение	115
2.3.1.	Общие условия проведения акустических измерений	115
2.3.2.	Правила ЕЭК ООН №9 (шум трёхколёсных мопедов и мотоциклов).....	120
2.3.3.	Правила ЕЭК ООН №41 (шум мотоциклов).....	124
2.3.4.	Правила ЕЭК ООН №51 (шум автомобилей)	127
2.3.5.	Правила ЕЭК ООН №59 (сменные глушители для автомобилей).....	132
2.3.6.	Правила ЕЭК ООН №63 (шум мопедов).....	133
2.3.7.	Правила ЕЭК ООН №92 (сменные глушители для мотоциклов и мопедов).....	135
2.3.8.	Правила ЕЭК ООН №117 (шум качения шин)	136
2.4.	Утилизация автотранспортных средств	143
2.4.1.	Правила ЕЭК ООН №133 (рециклинг автомобилей)	143
3.	Оборудование для экологических испытаний автотранспортных средств.....	148
3.1.	Динамометрические стенды	148
3.1.1.	Динамометрические моторные стенды	152
3.1.2.	Динамометрические автомобильные стенды с колёсными динамометрами	152
3.1.3.	Динамометрические стенды с беговыми барабанами	153
3.2.	Газоанализаторы и вспомогательное оборудование.....	155
3.2.1.	Системы отбора проб отработавших газов	155
3.2.2.	Методы измерения концентрации ЗВ	163
3.3.	Шумомеры	184
3.3.1.	Общие сведения	184
3.3.2.	Требования к шумомерам	186
3.4.	Расходомеры	187
3.4.1.	Измерение расхода топлива.....	188
3.4.2.	Измерение расхода воздуха	191
	Список литературы	195
	Приложение.....	196

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное учебное пособие продолжает серию книг, посвящённых концепции экотранспорта. В нём рассматривается очень важный инструмент реализации данной концепции – экологическая сертификация автотранспортных средств.

При написании данного учебного пособия в первую очередь преследовалась цель представить информацию в области принципиальных и технических аспектов сертификации автотранспортных средств. Процедурные, метрологические и статистические тонкости процесса сертификации решено оставить за рамками данной книги с тем, чтобы они не отвлекали читателя от сути дела. И несмотря на то, что в книге содержится подробная справочная информация о предельных величинах тех или иных показателей, режимах испытаний и составе испытательного оборудования, её не следует рассматривать как заменитель тех нормативных документов, которые лежат в основе процедур сертификации. В каком-то смысле данную книгу можно рассматривать как введение в экологическую сертификацию для инженеров.

Предполагается, что читатель знаком с устройством и принципами действия автомобиля и его основных агрегатов. Также желательно, чтобы читатель знал и понимал причины образования загрязняющих веществ, выбрасываемых автомобилями, и направления улучшения энерго-экологических характеристик автотранспортных средств.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Объект – то, на что направлена деятельность субъекта; при этом в качестве объекта может выступать и сам субъект.

Субъект – носитель деятельности, сознания и познания; индивид, познающий внешний мир (объект) и воздействующий на него в своей практической деятельности.

Явление – всё, что можно воспринять при помощи органов чувств.

Свойство – существенный, неотъемлемый признак объекта или явления.

Функция – отношение между элементами, при котором изменение в одном элементе влечёт изменение в другом.

Параметр (в технике) – величина, характеризующая какое-либо одно из измеряемых свойств испытуемого объекта, имеющая размер и размерность; величина, которая берётся как исходная в любой отдельной части исследования; величина, которая измеряется для вычисления переменной.

Переменная – свойство физической или абстрактной системы, которое может изменять своё значение.

Характеристика (в технике) – графическое, или табличное выражение функциональной зависимости одного параметра от другого или от внешнего фактора.

Показатель – обобщённая совокупность отличительных свойств какого-либо объекта, обычно выраженная в числовой форме.

Индикатор – доступный наблюдению и измерению параметр изучаемого объекта, позволяющий судить о других его параметрах, недоступных непосредственному измерению.

Признак – достаточное условие для принадлежности объекта некоторому множеству.

Понятие – отображённое в мышлении единство существенных свойств и отношений объектов; слова и словосочетания, обозначающие понятия, называются **терминами**.

Измерение – совокупность действий для определения отношения одной (измеряемой) величины к другой однородной величине, принятой за единицу.

Испытание (в технике) – опытное определение количественных и (или) качественных свойств предмета испытаний как результата воздействий на него.

Эталон – мерило, образец для сравнения с чем-либо, образцовая мера, служащая для воспроизведения, хранения и передачи каких-либо параметров.

Условия испытаний – совокупность воздействующих факторов и (или) режимов функционирования объекта при испытаниях.

Метод испытаний – правила применения определённых принципов и средств испытаний.

Средство испытаний – техническое устройство, вещество и (или) материал для проведения испытаний.

Методика испытаний – организационно-методический документ, обязательный к выполнению, включающий метод испытаний, средства и условия испытаний, отбор проб, алгоритмы выполнения операций по определению одной или нескольких взаимосвязанных характеристик объекта, формы представления данных и оценивания точности, достоверности результатов, требования техники безопасности и охраны окружающей среды. Методика испытаний должна быть аттестована.

Сертификационные испытания – испытания продукции, проводимые с целью установления соответствия её характеристик национальным и (или) международным нормативно-техническим документам.

Эксплуатационные испытания – испытания объекта, проводимые в процессе его эксплуатации.

Масса снаряжённого транспортного средства – масса порожнего транспортного средства с кузовом и сцепным устройством в случае буксирующего транспортного средства либо масса шасси с кабиной, если изготовитель не устанавливает кузов, и/или сцепным устройством, включая массу охлаждающей жидкости, масел, 90% топлива, 100% других жидкостей (за исключением отработавшей воды), инструментов, запасного колеса, водителя (75 кг) и – для городских и междугородных автобусов – члена экипажа (75 кг), если в транспортном средстве для него предусмотрено сиденье.

Полная масса транспортного средства – максимальная масса полностью нагруженного отдельного транспортного средства согласно

его конструкции и расчётным характеристикам, заявленная изготовителем.

Собственная масса¹ – масса транспортного средства в снаряжённом состоянии без экипажа, пассажиров или груза, полностью заправленного топливом (если оно предусмотрено), охлаждающей жидкостью, смазочными веществами и оснащённого служебной и тяговой аккумуляторными батареями, бортовым зарядным устройством, переносным зарядным устройством, инструментами и запасным колесом, если они прилагаются к транспортному средству заводом-изготовителем в качестве серийного оборудования.

Установившийся режим работы двигателя – такой режим, на котором двигатель работает относительно продолжительное время (как правило, несколько минут), за которое все исследуемые характеристики двигателя успевают стабилизироваться.

Неустановившийся режим работы двигателя – такой режим, на котором двигатель работает непродолжительное время (как правило, порядка одной секунды или меньше), за которое большинство характеристик двигателя не успевают стабилизироваться.

Омолодация – процесс улучшения технических характеристик с целью соответствия товара каким-либо стандартам или требованиям страны-потребителя товара, получения согласования от официальной организации.

Номинальная частота вращения двигателя – максимальная частота вращения при полной нагрузке, допускаемая регулятором, или, если такой регулятор отсутствует, частота вращения, при которой достигается максимальная мощность двигателя, указанная изготовителем.

Испытательный цикл – последовательная серия испытательных операций.

Деактивирующая стратегия (англ. *Defeat strategy*) – намеренная противоправная организация мер, приводящих к снижению результативности систем контроля и мониторинга выбросов загрязняющих веществ в условиях нормальной эксплуатации

¹ Иногда используется термин «масса порожнего транспортного средства».

транспортного средства относительно условий, в которых проводится сертификация.

Непрерывная регенерация – процесс регенерации системы очистки отработавших газов, который происходит непрерывно или, как минимум, один раз за испытание в европейском цикле испытаний двигателей в неустановившихся режимах (ETC) или смешанном ездовом цикле для автомобилей.

Периодическая регенерация – процесс регенерации системы очистки отработавших газов, который происходит периодически менее чем через 100 часов нормальной работы двигателя или 4000 км пробега автомобиля.

Дисперсные частицы – любая субстанция, улавливаемая каким-либо конкретно указанным фильтрующим материалом после разбавления отработавших газов чистым отфильтрованным воздухом при температуре в пределах 315 К (42 °С) – 325 К (52 °С); к ним относится прежде всего сажа (твёрдый углерод), конденсированные углеводороды и сульфаты в соединении с водой.

Запуск двигателя – процесс с момента начала проворачивания коленчатого вала двигателя до достижения частоты вращения, которая на 150 мин^{-1} меньше обычной частоты вращения холостого хода двигателя в прогретом состоянии.

Время прогрева двигателя – время функционирования двигателя с момента его запуска, достаточное для того, чтобы температура охлаждающей субстанции поднялась, как минимум, до температуры в 343 К (70 °С).

Метод разбавления полного потока – процесс смешивания полного потока отработавших газов с чистым отфильтрованным воздухом перед отделением соответствующей пробы в целях анализа.

Метод разбавления частичного потока – процесс отделения части от полного потока отработавших газов и её последующее смешивание с чистым отфильтрованным воздухом перед отделением соответствующей пробы в целях анализа.

Удельные выбросы загрязняющих веществ – масса выбросов загрязняющих веществ, приходящаяся на единицу совершённой двигателем работы и выраженная в г/кВт·ч.

Пробеговые выбросы загрязняющих веществ – масса выбросов загрязняющих веществ, приходящаяся на единицу пробега автомобиля и выраженная в г/км.

Топливо переменного состава (англ. *Flex fuel*) – смесь бензина и этанола произвольного соотношения (в диапазоне от 5% до 85% этанола) или смесь дизельного и биодизельного топлив произвольного соотношения (в диапазоне от 5% до 100% биодизельного топлива).

Гибкотопливное транспортное средство (англ. *Flex fuel vehicle*) – транспортное средство с одной системой хранения топлива, которое может работать на топливе переменного состава.

Гибридное транспортное средство (англ. *Hybrid vehicle*) – транспортное средство, имеющее не менее двух различных преобразователей энергии и двух различных (бортовых) систем аккумулирования энергии с целью приведения в движение транспортного средства.

Транспортное средство с выработанным ресурсом – транспортное средство, которое собственник снимает, намеревается или обязан снять с эксплуатации.

Сопротивление качению – потеря энергии (или потреблённая энергия) на единицу пройденного расстояния.

Коэффициент сопротивления качению – соотношение сопротивления качению и нагрузки на шину.

Повторное использование (англ. *Reuse*) означает любое действие, посредством которого компоненты транспортных средств с выработанным ресурсом используются для тех же целей, для которых они изначально были предназначены.

Рециклинг (англ. *Recycling*) означает промышленную переработку отходов для первоначальной или иных целей, за исключением регенерации энергии.

Утилизация (англ. *Recovery*) означает промышленную переработку отходов для первоначальной или иных целей наряду с регенерацией энергии.

Регенерация энергии (англ. *Energy recovery*) означает применение горючих отходов в качестве источника получения энергии путём прямого сжигания с использованием других отходов или без таковых.

Возможность повторного использования (англ. *Reusability*) означает возможность повторного использования компонентов, снятых с транспортного средства с выработанным ресурсом.

Возможность рециклизации (англ. *Recyclability*) означает возможность рециклинга компонентов, снятых с транспортного средства с выработанным ресурсом.

Возможность утилизации (англ. *Recoverability*) означает возможность утилизации компонентов, снятых с транспортного средства с выработанным ресурсом.

Степень рециклизации транспортного средства означает относительную долю в процентах от массы нового АТС, потенциально пригодную для повторного использования и рециклинга.

Степень утилизации транспортного средства означает относительную долю в процентах от массы нового АТС, потенциально пригодную для повторного использования и утилизации.

СОКРАЩЕНИЯ

- АТС – автотранспортное средство
БДС – бортовая диагностическая система
ВСХ – внешняя скоростная характеристика
ГТП – глобальные технические предписания
ДВС – двигатели внутреннего сгорания
ДВСПВ – ДВС с принудительным воспламенением рабочей смеси
ДВСВС – ДВС с самовоспламенением рабочей смеси при впрыске топлива в нагретый в результате сжатия воздух
ДТ – дизельное топливо
ДЧ – дисперсные частицы
ЕКС – Европейский координационный совет по изучению эксплуатационных свойств топлива и смазочных материалов для двигателей
ЕС – Европейский Союз
ЕЭК ООН – Европейская экономическая комиссия Организации Объединённых Наций
ЗВ – загрязняющее (атмосферу) вещество
ИЮПАК – Международный союз теоретической и прикладной химии
КВТ ЕЭК ООН – Комитет по внутреннему транспорту ЕЭК ООН
КП – коробка передач
ОГ – отработавшие газы
ПГ – природный газ
ПСИВ – переносная система измерения выбросов
ССТД – система снижения токсичности ОГ двигателя
СУГ – сжиженный углеводородный газ
ЭБУД – электронный блок управления двигателем
CARB – англ. *California Air Resources Board* – Совет по воздушным ресурсам Калифорнии
EPA – англ. *Environmental Protection Agency* – Агентство охраны окружающей среды (США)
ELR – англ. *European Load Routine* – Европейская нагрузочная процедура

ESC – англ. *European Stationary Cycle* – Европейский стационарный (установившийся) цикл

ETC – англ. *European Transient Cycle* – Европейский неустановившийся цикл

PDP-CVS – англ. *Positive Displacement Pump – Constant Volume Sampler* – система отбора проб постоянного объема с нагнетательным поршневым насосом

CFV-CVS – англ. *Critical Flow Venturi – Constant Volume Sampler* – система отбора проб постоянного объема с трубкой Вентури с критическим расходом

SSV-CVS – англ. *SubSonic Venturi – Constant Volume Sampler* – система отбора проб постоянного объема с трубкой Вентури для дозвукового потока

SCR – англ. *Selective Catalytic Reduction* – селективная каталитическая нейтрализация

WNTE – англ. *World harmonized Not-To-Exceed methodology* – всемирно гармонизированная методология непревышения (уровня выбросов ЗВ)

CLD – англ. *Chemiluminescent detector* – хемилюминесцентный детектор

FID – англ. *Flame ionization detector* – плазменно-ионизационный детектор

GC – англ. *Gas chromatograph* – газовый хроматограф

HCLD – англ. *Heated chemiluminescent detector* – нагреваемый хемилюминесцентный детектор

HFID – англ. *Heated flame ionization detector* – нагреваемый плазменно-ионизационный детектор

NDIR – англ. *Non-dispersive infrared analyzer* – недисперсионный инфракрасный анализатор

LDS – англ. *Laser Diode Spectrometer* – диодно-лазерный спектрометр

FTIR – англ. *Fourier Transform Infrared* – инфракрасный анализатор-преобразователь Фурье

PNC – англ. *Particle Number Counter* – счётчик количества ДЧ

VPR – англ. *Volatile Particle Remover* – отделитель летучих ДЧ

ВВЕДЕНИЕ

Сертификация – процедура, посредством которой независимая от изготовителя и потребителя организация удостоверяет в письменной форме, что продукция соответствует установленным требованиям.

В настоящее время, согласно федеральному закону от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании», сертификация рассматривается как одна из форм более общего понятия – оценки соответствия, под которой понимается прямое или косвенное определение соблюдения требований, предъявляемых к объекту. В качестве независимой организации выступает т.н. орган по сертификации, а в качестве установленных требований – положения технических регламентов, документов по стандартизации или условия договоров.

Под **экологической сертификацией** автотранспортных средств (АТС) будем рассматривать оценку соответствия их экологически значимых характеристик (потребление энергии и топлива, выбросы загрязняющих веществ, шум, степень рециклизации и т.п.) требованиям упомянутых выше нормативных документов на всех этапах жизненного цикла (производство и выпуск в обращение, эксплуатация, рециклинг или утилизация).

Механизм экологической сертификации автомобилей является одним из инструментов, с помощью которых государство может контролировать и регулировать общественные отношения в сфере транспорта и окружающей среды. В настоящее время он рассматривается как политически приемлемый и эффективный способ административного воздействия на автопроизводителей и пользователей транспортных средств.

Целью экологической сертификации АТС является стимулирование автопроизводителей совершенствовать конструкцию АТС для повышения её безопасности и экологичности, а также стимулирование пользователей автотранспортной техники поддерживать её техническое состояние на надлежащем уровне.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СЕРТИФИКАЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Существующие в настоящее время программы контроля экологических показателей автомобилей в течение их жизненного цикла схематично показаны на рис. 1.

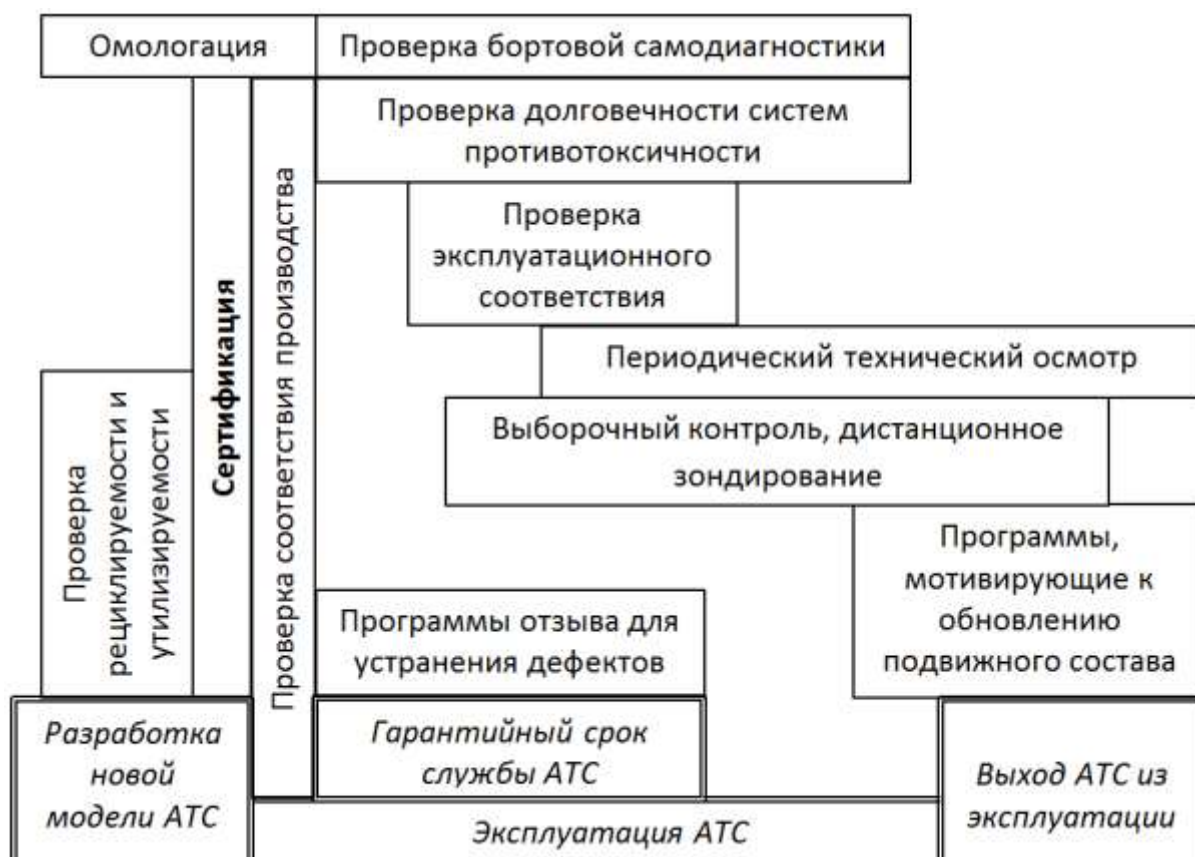


Рис. 1. Схема распределения программ контроля экологических характеристик автомобилей по этапам их жизненного цикла

Омологация автомобиля (от греч. *homologeō* – «договориться») – усовершенствование автомобиля, улучшение его технических характеристик с целью соответствия каким-либо стандартам или требованиям страны-потребителя товара, получения сертификата соответствия от официальной организации.

Наиболее сложные испытательные процедуры применяются при **сертификации** новых моделей автомобилей и их двигателей. Причём испытаниям подвергаются не только специально подготовленные для сертификации образцы техники, но и отобранные случайным образом с

заводского конвейера, что обеспечивает т.н. **проверку соответствия производства**. Существующие в настоящее время регламенты устанавливают требования к **долговечности систем противотоксичности** АТС, которые должны быть эффективными в течение, как минимум, 5...8 лет эксплуатации.

Исправность и эффективность работы систем противотоксичности АТС должна непрерывно отслеживаться при помощи **бортовой системы самодиагностики** (англ. *On Board Diagnosis, OBD*). В будущем это может быть изменено на «бортовой мониторинг» (англ. *On Board Monitoring, OBM*), при котором загрязняющие вещества непрерывно контролируются с помощью датчиков.

Для подтверждения отсутствия в конструкции АТС так называемых «деактивирующих стратегий», применяемых недобросовестными производителями для отключения или перенастройки системы снижения токсичности ДВС после прохождения сертификационных испытаний, применяются процедуры **проверки эксплуатационного соответствия**.

В течение гарантийного срока автопроизводители реализуют **программы отзыва** определённых моделей АТС при обнаружении дефектов, влияющих на показатели их безопасности и экологичности. В ходе этих программ пользователи автотранспортных средств с обнаруженными принципиальными дефектами в конструкции приглашаются на дилерские станции технического обслуживания для бесплатного устранения недостатков.

Начиная с 3...4-летнего возраста, все автотранспортные средства проходят обязательные процедуры **периодического технического осмотра**, предназначенные для проверки соответствия показателей безопасности и экологичности техники, находящейся в эксплуатации. Кроме того, во многих странах реализуются **программы выборочного контроля** АТС, в ходе которых проводятся стендовые или дорожные испытания для определения уровня выбросов ЗВ. Все страны – члены Евросоюза обязаны проводить такие программы. Зачастую они реализуются с применением **дистанционного зондирования** (англ. *Remote sensing*) – т.е. измерением выбросов ЗВ датчиками, расположенными по обеим сторонам дороги или над ней, которые могут эффективно обнаруживать отдельных участников движения с высоким уровнем выбросов, таких как неисправные АТС или АТС с проблемами

техобслуживания. Если определённая модель АТС статистически более часто обнаруживается данной системой, это приводит к её идентификации в качестве так называемой «подозрительной модели транспортного средства» с последующим детальным исследованием.

Наконец, в большинстве развитых стран автопроизводители обязаны реализовать различные **программы, мотивирующие обновление парка подвижного состава**, направленные на упорядочение сбора и переработки (рециклинга и утилизации) вышедших из эксплуатации АТС.

Как видно из этой схемы, ответственность за создание экологичной и безопасной техники, пригодной к эффективному рециклингу после завершения жизненного цикла, возлагается на производителя. Ответственность за надлежащую эксплуатацию техники возлагается на потребителя. Своевременный вывод АТС из эксплуатации находится в сфере обоюдной ответственности как потребителя, так и производителя.

Наибольшее влияние на процесс совершенствования конструкции новых моделей автотранспортных средств и их двигателей оказывает обязательная сертификация.

В мире исторически сложились три системы сертификации автомобилей и их двигателей по экологически значимым показателям:

- система сертификации США (включая федеральные и калифорнийские регламенты и нормы);
- система сертификации Евросоюза;
- система сертификации Японии.

Впервые нормы на выбросы ЗВ с ОГ автомобилей были введены в 1959 г. в штате Калифорния – были приняты стандарты по ограничению выбросов углерода оксида (СО) и углеводородов (СН). В 1963 г. Конгрессом США был принят Закон о чистом воздухе (англ. *Clean Air Act*), который впервые ввёл ограничения на содержание СО и СН в отработавших газах автомобилей, в основу которого были заложены калифорнийские стандарты.

В 1990 году Закон о чистом воздухе был существенно переработан. В новой редакции закона была введена обязательная сертификация автомобилей и их двигателей на соответствие показателей выбросов ЗВ и уровней шума федеральным стандартам, предусмотрено постоянное ужесточение норм.

В США обязательные нормативные требования по безопасности автотранспортных средств и процедуры подтверждения соответствия этим требованиям изложены в федеральных стандартах, включённых в «Кодекс федеральных правил» (англ. *Code of Federal Regulations, CFR*) и имеют статус федеральных законов. Разработка стандартов и контроль за их выполнением возложены на Федеральное правительственное агентство защиты окружающей среды (EPA) и Национальную администрацию безопасности дорожного движения (NHTSA).

Разработка первого стандарта на токсичность ОГ автомобилей в Японии относится к 1966 г. Сначала был принят стандарт на содержание СО в ОГ легковых автомобилей. В 1972 г. Агентство по охране окружающей среды Японии установило стандарты на качество атмосферного воздуха для серы диоксида (SO₂), СО, СН и дисперсных частиц (ДЧ), дополненных позднее стандартами на свинец (Pb) и оксиды азота (NO_x). С этого времени нормирование выбросов ЗВ с ОГ автомобилей перешло под государственный контроль. В Японии действует «Акт о дорожных транспортных средствах», содержащий перечень конструктивных характеристик АТС, к которым подзаконными актами должны быть установлены нормативные требования.

В 1958 году Германия предложила заключить под эгидой Европейской Экономической Комиссии ООН¹ (ЕЭК ООН) «Соглашение о принятии единообразных условий официального утверждения и о взаимном признании официального утверждения предметов оборудования и частей механических транспортных средств и прицепов», которое было подписано 20 марта 1958 года в Женеве (Женевское Соглашение 1958 г.), и вступило в силу в 1959 году.

Приложения к Женевскому соглашению, содержащие регламенты испытательных процедур и установленные нормативные показатели, названы «Правилами ЕЭК ООН». В настоящее время² действуют 163 таких предписания – Правил ЕЭК ООН, разработанных в рамках Всемирного форума для согласования правил в области транспортных средств (WP. 29). Среди них и предписания, касающиеся показателей энергоэффективности и экологичности АТС (табл. 1).

¹ The United Nations Economic Commission for Europe (UNECE).

² По состоянию на 27 октября 2021 года.

Таблица 1

Перечень Правил ЕЭК ООН, касающихся нормирования показателей энергоэффективности и экологичности АТС

№ Правил ЕЭК ООН	Содержание Правил ЕЭК ООН
9	Шум трёхколёсных транспортных средств
10	Электромагнитная совместимость
24	Мощность и дымность ОГ ДВСВС
40	Выбросы ЗВ с ОГ мотоциклов
41	Шум мотоциклов
47	Выбросы ЗВ с ОГ мопедов
49	Выбросы ЗВ с ОГ ДВСВС, а также ДВСПВ, работающих на СУГ или ПГ, для автомобилей полной массой свыше 3,5 тонн
51	Шум автомобилей
59	Сменные глушители шума
63	Шум мопедов
68	Измерение максимальной скорости АТС
83	Выбросы ЗВ с ОГ автомобилей полной массой до 3,5 тонн
84	Измерение потребления топлива АТС
85	Измерение мощности ДВС
92	Сменные глушители шума для мотоциклов
96	Выбросы ЗВ с ОГ ДВСВС для сельскохозяйственных тракторов
101	Выбросы CO ₂ и расход топлива (энергии) легковыми АТС
103	Сменные нейтрализаторы ОГ
117	Сопротивление качению, сцепление на мокрых поверхностях и шум шин
120	Измерение мощности и расхода топлива ДВСВС тракторов
132	Рetrofitные устройства ограничения выбросов ЗВ для большегрузных транспортных средств, сельскохозяйственных и лесных тракторов и внедорожной подвижной техники, оснащённых ДВСВС
133	Возможность повторного использования, утилизации и восстановления (рециклинга) АТС
134, 146	Безопасность транспортных средств, работающих на водороде

В соответствии с Женевским соглашением 1958 г., каждая страна-участница соглашения самостоятельно и добровольно определяет, к каким Правилам ЕЭК ООН она присоединяется, какие Правила ЕЭК ООН она включает в своё национальное законодательство и в какой форме. Изготовитель АТС также сам определяет, по каким Правилам ЕЭК ООН он может и хочет сертифицировать свою продукцию, однако он должен это обязательно сделать в отношении тех Правил ЕЭК ООН, которые внедрены в национальное законодательство страны, где он намеревается реализовывать свою продукцию.

В Европе испытания на официальное утверждение типа проводятся по свидетельству технической службы, такой как TÜV, DEKRA и т.п. Техническая служба подтверждает правильность проведённых испытаний и их результатов. Техническая служба и её услуга выбирается и оплачивается производителем. В качестве альтернативы любая профильная испытательная лаборатория может пройти процедуру аккредитации для проведения таких испытаний без участия технической сервисной организации.

В США действует механизм «самосертификации», в соответствии с которым производитель проводит испытания самостоятельно и представляет результат в орган EPA и/или CARB. EPA и CARB выдают официальное «утверждение типа» на один год, которое должно ежегодно продлеваться. Вся ответственность остаётся на производителе, и если транспортное средство будет признано несоответствующим требованиям, это приведёт к высоким штрафным санкциям. Эта самосертификация является причиной того, что правила США написаны более подробно по сравнению с Правилами ЕЭК ООН и содержат информацию в формате руководства.

Большинство автомобильных фирм производят транспортные средства для глобального рынка или, по крайней мере, для нескольких регионов. Хотя транспортные средства в различных регионах мира отличаются друг от друга, поскольку их типы и модели, как правило, ориентированы на местные предпочтения и условия жизни, соблюдение различных норм выбросов в каждом регионе является значительным бременем с административной точки зрения и в плане конструкции транспортных средств. По этой причине изготовители транспортных средств весьма заинтересованы в максимально возможном согласовании процедур испытаний транспортных средств на выбросы загрязняющих веществ и требований к их рабочим характеристикам на глобальном уровне. Органы государственного нормативного регулирования также заинтересованы в глобальной унификации, поскольку она способствует техническому прогрессу и адаптации к нему, открывает возможности для сотрудничества в области надзора за рынком и облегчает обмен информацией между соответствующими компетентными органами.

В рамках WP.29 с 1995 г. были начаты консультации по принятию нового, т.н. «глобального» соглашения. Основной целью глобального

соглашения считается снижение технических барьеров в международной торговле. В 1998 г (в том числе с участием России) было заключено «Соглашение о введении глобальных технических правил для колёсных транспортных средств, предметов оборудования и частей, которые могут быть установлены и/или использованы на колёсных транспортных средствах», которое вступило в силу с 25.08.2000 г. Данный документ устанавливает «Глобальные технические правила ООН» (ГТП ООН) в отношении рабочих характеристик, от которых зависит безопасность АТС, их защита от угона, а также негативное воздействие на окружающую среду и эффективность использования энергии. Соглашение 1998 г. предусматривает, что сторона, голосовавшая за введение глобальных технических правил, обязана включить их в своё законодательство. К настоящему времени¹ принято 21 ГТП, среди них несколько касаются показателей энергоэффективности и экологичности АТС (табл. 2).

В СССР после присоединения в 1987 году к Женевскому соглашению 1958 года было принято прямое применение Правил ЕЭК ООН, которые действовали наряду с отраслевыми и государственными стандартами, ограничивающими вредные выбросы.

В настоящее время в России действует Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 018/2011 «О безопасности колёсных транспортных средств». Реализация требований данного технического регламента обеспечивается выполнением соответствующих Правил ЕЭК ООН, ГТП ООН и непосредственно положений Техрегламента.

Кроме перечисленных выше требований к новым моделям АТС, в рамках WP.29 принято соглашение 1997 года о периодических технических инспекциях (осмотрах). Дополнениями к данному соглашению служат 4 предписания², первое из которых устанавливает требования к экологическим аспектам периодических техосмотров.

¹ По состоянию на 27 октября 2021 года.

² По состоянию на 23 октября 2020 года.

Таблица 2

Перечень Глобальных технических правил ООН, касающихся
нормирования показателей энергоэффективности
и экологичности АТС

№ ГТП	Содержание ГТП ООН
2	Измерительная процедура для 2-колёсных мотоциклов, оборудованных ДВСПВ или ДВСВС в отношении выброса газообразных ЗВ, CO ₂ и расхода топлива
4	Испытательная процедура для ДВСПВ и ДВСВС, работающих на природном газе или сжиженном углеводородном газе в отношении выброса ЗВ
5	Требования к бортовой диагностической системе АТС
10	Выбросы ЗВ с ОГ ДВС вне испытательных циклов
11	Испытательная процедура для ДВСВС, предназначенных для установки в сельскохозяйственные и лесные трактора и внедорожные мобильные машины, в отношении выбросов ЗВ двигателем
13	АТС, работающие на водороде
15	Испытательные процедуры для лёгких АТС
17	Испытательная процедура для 2- и 3-колёсных транспортных средств, оборудованных ДВС, в отношении выбросов картерных газов и испарений углеводородов
18	БДС для 2- и 3-колёсных транспортных средств
19	Испытательная процедура для измерения испарений углеводородов из системы питания легковых автомобилей
20	Безопасность электромобилей
21	Мощность электромобилей

1.1. Классификация транспортных средств

Прежде чем перейти к рассмотрению основных регламентов экологической сертификации, приведём классификацию АТС, используемую для этой цели в России и Европе:

- **M1** – пассажирские АТС, имеющие помимо водителя не более 8 мест для сидения;
- **M2** – пассажирские АТС, имеющие помимо водителя более 8 мест для сидения и максимальную массу, не превышающую 5 т;

- **M3¹** – пассажирские АТС, имеющие помимо водителя более 8 мест для сидения и максимальную массу, превышающую 5 т;
- **N1** – грузовые АТС, максимальная масса которых не более 3,5 т;
- **N2** – грузовые АТС, максимальной массой свыше 3,5 т, но не более 12 т;
- **N3** – грузовые АТС, максимальная масса которых превышает 12 т;
- **O1...O4** – прицепы с различной максимальной массой;
- **L1** – двухколёсные мопеды, максимальная конструктивная скорость которых не превышает 50 км/ч, с рабочим объёмом ДВС, не превышающим 50 см³, или с максимальной мощностью электродвигателя², не превышающей 4 кВт;
- **L2** – трёхколёсные мопеды с любым расположением колёс, максимальная конструктивная скорость которых не превышает 50 км/ч, с рабочим объёмом ДВС, не превышающим 50 см³, или с максимальной мощностью электродвигателя, не превышающей 4 кВт;
- **L3** – двухколёсные мотоциклы, максимальная конструктивная скорость которых превышает 50 км/ч с рабочим объёмом ДВС, превышающим 50 см³;
- **L4** – мотоциклы с коляской, максимальная конструктивная скорость которых превышает 50 км/ч с рабочим объёмом ДВС, превышающим 50 см³;

¹ Транспортные средства категорий М2 и М3 вместимостью не более 22 пассажиров помимо водителя подразделяются на класс А, предназначенные для перевозки стоящих и сидящих пассажиров, и класс В, предназначенные для перевозки только сидящих пассажиров. Транспортные средства категорий М2 и М3 вместимостью свыше 22 пассажиров помимо водителя подразделяются на класс I, имеющие выделенную площадь для стоящих пассажиров и обеспечивающие быструю смену пассажиров, класс II, предназначенные для перевозки преимущественно сидящих пассажиров и имеющие возможность для перевозки стоящих пассажиров в проходе и (или) на площади, не превышающей площадь двойного пассажирского сидения, и класс III, предназначенные для перевозки исключительно сидящих пассажиров.

² Здесь и далее имеется в виду «номинальная максимальная мощность электродвигателя в режиме длительной нагрузки».

- **L5** – трициклы (трёхколёсные АТС с колёсами, симметричными по отношению к средней продольной плоскости АТС), максимальная конструктивная скорость которых превышает 50 км/ч с рабочим объёмом ДВС, превышающим 50 см³;
- **L6** – лёгкие квадроциклы (четырёхколёсные АТС, ненагруженная масса¹ которых не превышает 350 кг без учёта массы аккумуляторов²), максимальная конструктивная скорость которых не превышает 50 км/ч, с рабочим объёмом ДВС, не превышающим 50 см³, или с максимальной мощностью электродвигателя, не превышающей 4 кВт;
- **L7** – квадроциклы (четырёхколёсные АТС иные, чем АТС категории L6, ненагруженная масса которых не превышает 400 кг (550 кг для АТС, предназначенных для перевозки грузов) без учёта массы аккумуляторов), максимальная эффективная мощность двигателя которых не превышает 15 кВт;
- **T, R** – сельскохозяйственные транспортные средства;
- **S** – транспортные средства специального назначения;
- **G** – транспортные средства повышенной проходимости.

1.2. Эталонные условия проведения испытаний

Для того, чтобы иметь возможность корректно сравнивать результаты испытаний различных АТС друг с другом и с установленными пороговыми значениями исследуемых параметров, необходимо соблюсти ряд требований, гарантирующих равенство условий испытаний заданным эталонным (стандартным, нормальным) условиям:

- требования к комплектности и техническому состоянию АТС;
- требования к используемым топливам, смазочным материалам и другим эксплуатационным жидкостям;
- требования к атмосферным условиям;
- требования к испытательному оборудованию и инфраструктуре;
- требования к режимам движения АТС (режимам работы ДВС);
- требования к точности измерений исследуемых параметров и характеристик.

¹ Ненагруженная масса – снаряжённая масса минус масса топлива.

² В случае электрического транспортного средства.

1.2.1. Требования к комплектности и техническому состоянию АТС (ДВС)

Комплектация и все регулировочные параметры АТС (ДВС) должны соответствовать спецификациям завода-изготовителя.

АТС (ДВС) должны быть обкатаны в условиях, рекомендованных заводом-изготовителем.

Температура двигателя и других агрегатов АТС не должна выходить за рамки своих обычных рабочих значений, определённых заводом-изготовителем. Это достигается при помощи определённой процедуры прогрева АТС (ДВС) непосредственно перед испытанием, а при необходимости, применяется вспомогательное устройство охлаждения.

Применяемые шины должны соответствовать одному из типов шин, определённых в качестве штатных заводом-изготовителем, причём давление воздуха в них должно соответствовать рекомендуемому заводом-изготовителем для нагрузки и максимальной скорости, развиваемой в процессе испытания. Шины либо должны пройти обкатку одновременно с АТС, либо глубина их протектора должна составлять 90...50% первоначальной глубины.

Детализация требований к комплектности и техническому состоянию АТС (ДВС) приводится далее в соответствующих главах.

1.2.2. Требования к используемым топливам, смазочным материалам и другим эксплуатационным жидкостям

Применяются смазочные материалы, рекомендуемые заводом-изготовителем.

Как правило, при сертификационных испытаниях используется эталонное топливо, характеристики которого определены ЕКС¹. При испытаниях на соответствие производства топливо должно соответствовать имеющемуся на рынке топливу без каких-либо дополнительных присадок. Однако по желанию завода-изготовителя может быть использовано эталонное топливо.

¹ Характеристики видов топлива определены в Сводной резолюции СР.3 (документ TRANS/SC.1/WP.29/78).

В случае **природного газа** двигатель должен продемонстрировать свою способность адаптироваться к топливу любого состава, которое может иметься на рынке. В случае природного газа обычно существуют два вида топлива – топливо с высокой теплотворной способностью (Н-газ) и топливо с низкой теплотворной способностью (L-газ), но при этом наблюдается значительный разброс в рамках этих двух ассортиментов. Топлива существенно различаются по своему энергосодержанию, характеризуемому индексом Воббе¹, и по коэффициенту λ -смещения² ($\Delta\lambda$). Природные газы с $\Delta\lambda$ от 0,89 до 1,08 считаются относящимися к ассортименту Н, а природные газы с $\Delta\lambda$ от 1,08 до 1,19 – к ассортименту L. Состав эталонных газовых топлив отражает крайние значения показателя $\Delta\lambda$.

В случае **сжиженного углеводородного газа (СУГ)** двигатель должен продемонстрировать свою способность адаптироваться к топливу любого состава, которое может иметься на рынке. Существуют различия в составе топлив C_3/C_4 , относящихся к СУГ. Эти различия отражены в составе эталонных топлив А и В. Двигатель должен отвечать требованиям в отношении выбросов при работе на эталонных топливах А и В без какой-либо дополнительной регулировки для адаптации к используемой топливной смеси между двумя испытаниями.

1.2.3. Требования к атмосферным условиям

Термины «стандартные» и «нормальные» атмосферные условия имеют устоявшийся научно-прикладной смысл. Так, ИЮПАК в 1982 году установил следующие **стандартные атмосферные условия**:

- стандартное давление – 100000 Па;
- стандартная температура – 273,15 К (0 °С).

¹ Индекс Воббе (англ. *Wobbe index*) – значение высшей объёмной теплоты сгорания газа при определённых стандартных условиях, делённое на квадратный корень относительной плотности газа при тех же стандартных условиях измерений.

² Коэффициент λ -смещения – выражение, используемое для описания требуемой приспособляемости системы управления двигателем к изменению коэффициента избытка воздуха λ , если двигатель работает на газовой смеси, а не на чистом метане.

Под **нормальными атмосферными условиями** обычно понимается:

- нормальное давление – 101325 Па (1 атм., 760 мм рт. ст.);
- нормальная температура – 293,15 К (+20 °С).

В рамках Правил ЕЭК ООН установлены несколько другие значения давления и температуры, принимаемые за эталонные. Возможны несколько вариантов **эталонных атмосферных условий**.

1-й вариант:

- температура T_0 – 298 К (25°С);
- давление P_0 – 100 кПа (99 кПа – сухое давление P_{s0} и 1 кПа – давление водяных паров P_{w0}).

2-й вариант:

- температура T_0 – 293 К (20°С);
- давление P_0 – 100 кПа.

3-й вариант:

- температура T_0 – 273,15 К (0°С);
- давление P_0 – 101325 Па (1 атм., 760 мм рт. ст.).

Измеряемые в ходе испытаний параметры, зависящие от температуры и давления атмосферного воздуха, пересчитываются (приводятся) к эталонным атмосферным условиям.

Плотность воздуха во время испытания D определяется по формуле

$$D = D_0 \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T}, \quad (1)$$

где D_0 – плотность воздуха при эталонных условиях, кг/м³;

P – фактическое давление, кПа;

P_0 – давление при эталонных условиях, кПа;

T – фактическая температура, К;

T_0 – температура при эталонных условиях, К.

Влажность воздуха задаётся в пределах 5,5...12,2 г Н₂О на кг сухого воздуха. При этом вводится поправка, корректирующая измеренную концентрацию NO_x, поскольку она зависит от влажности воздуха.

При проведении дорожных испытаний относительная влажность воздуха должна быть не более 95%.

Средняя скорость ветра, измеренная на высоте 1 м от поверхности дороги, не должна превышать 3 м/с, скорость порывов ветра не должна превышать 5 м/с.

1.2.4. Требования к режимам движения АТС

Типичные режимы движения АТС задаются несколькими **ездовыми циклами**, состоящими из этапов запуска и остановки двигателя, холостого хода, разгона, установившегося движения, замедления и торможения. В рамках Правил ЕЭК ООН городские условия движения лёгких АТС категорий M1, M2, N1, N2, L3, L4, L5 имитируются **городским ездовым циклом** (рис. 2), а внегородские – **загородным ездовым циклом** (рис. 3).

Последовательность четырёх городских циклов и одного загородного называется **комбинированным (или смешанным) ездовым циклом**. Он носит название Нового европейского ездового цикла (англ. *New European Driving Cycle, NEDC*).

Первый цикл начинают с процедуры запуска двигателя.

В данных ездовых циклах этапы разгона выполняются с постоянным заданным ускорением. Моменты переключения передач также регламентированы за исключением АТС с автоматическими коробками передач, где этот процесс осуществляется по командам штатного бортового блока управления.

Режим постоянной скорости достигается путём удержания акселератора в неизменном положении.

Любое замедление в рамках городского цикла выполняется снятием ноги с акселератора, причём сцепление остаётся включённым. Сцепление следует выключать без использования рычага переключения передач на более высокой из указанных ниже скоростей: 10 км/ч или скорость, соответствующая числу оборотов двигателя в режиме холостого хода.

Любое замедление в рамках загородного цикла выполняется снятием ноги с акселератора, причём сцепление остаётся включённым. Для окончательного замедления сцепление следует выключать без использования рычага переключения передач на скорости 50 км/ч.

Если период замедления превышает время, предусмотренное для соответствующего этапа, то следует использовать тормоза транспортного средства, чтобы не нарушить хронометраж цикла.

В конце ездового цикла (остановка транспортного средства на беговых барабанах) рычаг коробки передач переводят в нейтральное положение и включают сцепление.

При выполнении ездовых циклов допускается отклонение от заданного режима по скорости на ± 2 км/ч и по времени на ± 1 с.

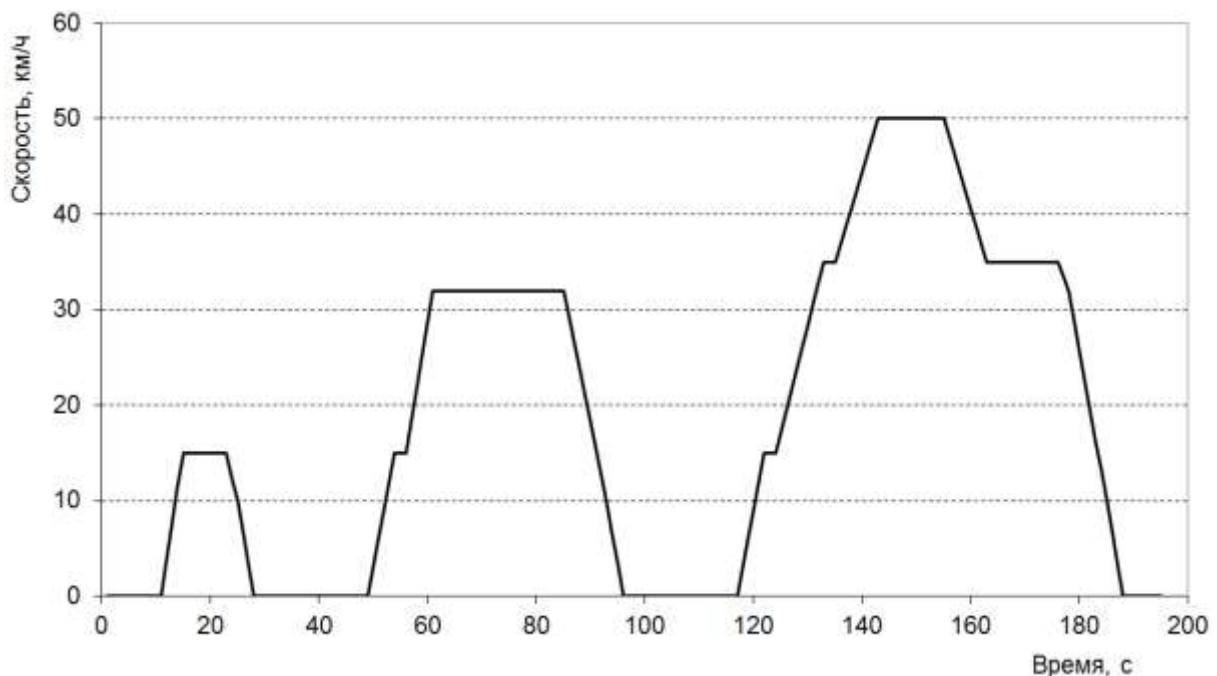


Рис. 2. Схема европейского городского ездового цикла

Общие параметры городского цикла:

- средняя скорость: 19 км/ч;
- время испытания: 195 с;
- теоретическое расстояние, пройденное за цикл: 1013 м.

Общие параметры загородного цикла:

- средняя скорость: 62,6 км/ч;
- время испытания: 400 с;
- теоретическое расстояние, пройденное за цикл: 6955 м.

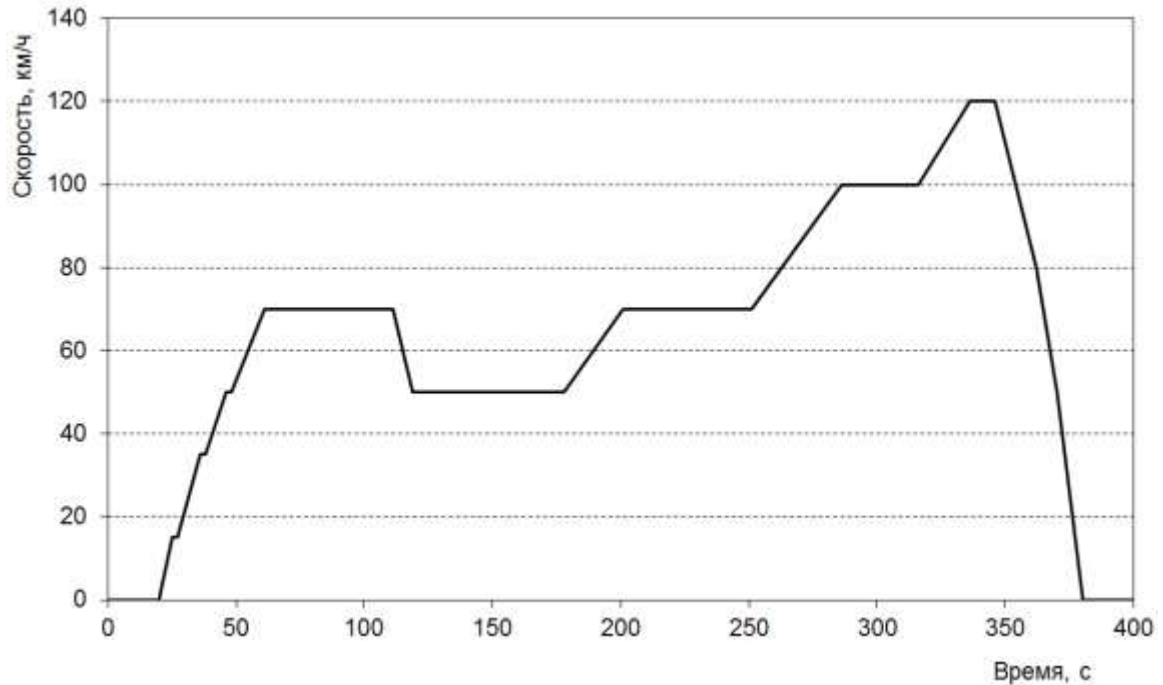


Рис. 3. Схема европейского загородного ездового цикла

Городские условия движения АТС категорий L1, L2 (мопедов) задаются ездовым циклом, показанным на рис. 4. Разгон осуществляется с полной подачей топлива, поэтому данный этап ездового цикла может варьироваться для конкретного транспортного средства.

При выполнении ездового цикла допускается отклонение от заданного режима по скорости на ± 1 км/ч и по времени на $\pm 0,5$ с.

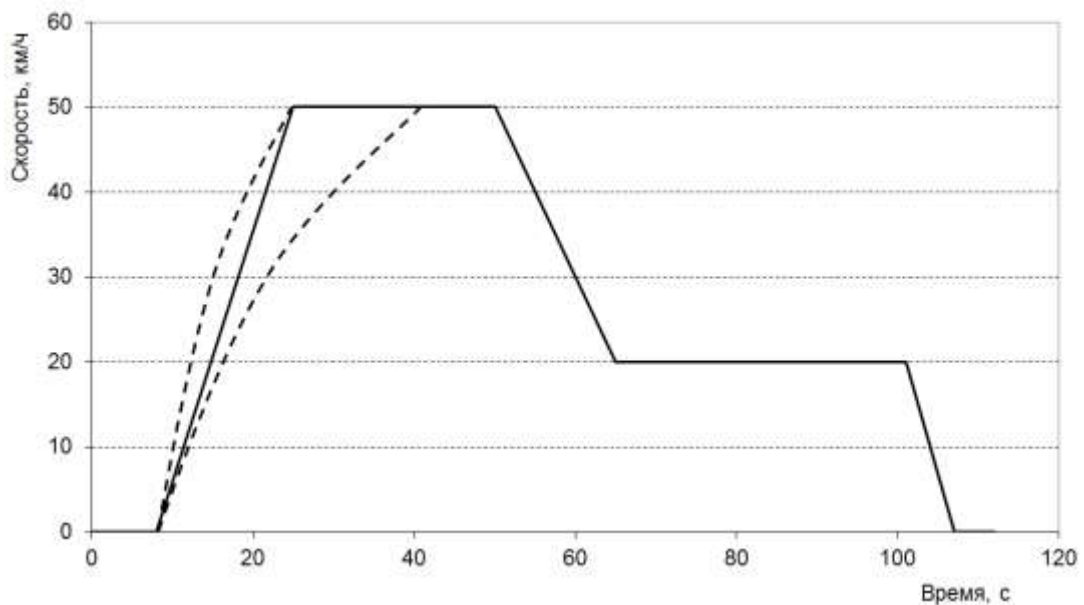


Рис. 4. Схема европейского городского ездового цикла для мопедов

Общие параметры городского цикла для мопедов:

- средняя скорость (ориентировочно): 26 км/ч;
- время испытания: 112 с;
- теоретическое расстояние, пройденное за ездовой цикл (ориентировочно): 828 м.

Всемирно согласованный ездовой цикл для транспортных средств малой грузоподъёмности (англ. *Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycle – WLTC*) разработан, чтобы заменить как минимум три «региональных» ездовых цикла – NEDC в Европе, FTP-75 в Америке и JC08 в Японии.

Дорожные качества WLTC были тщательно проанализированы в процессе разработки и подтверждены на трёх различных этапах проверки. Для отдельных транспортных средств с ограниченными дорожными качествами, обусловленными низкой удельной мощностью на единицу массы либо ограниченной максимальной скоростью транспортного средства, были разработаны специальные варианты этого цикла. Кроме того, параметры кривой скорости, которой должно следовать испытываемое транспортное средство, будут пропорционально снижены в соответствии с принятым математическим методом в том случае, если для соблюдения хронометража цикла потребуются чрезмерно высокая доля работы при полностью открытой дроссельной заслонке. Для транспортных средств с механической коробкой передач точки переключения передач определяются путём математического расчёта, основанного на характеристиках конкретных транспортных средств, что также способствует оптимизации дорожных качеств WLTC.

По сравнению с региональными ездовыми циклами WLTC характеризуется более высокой степенью репрезентативности с точки зрения реальных условий вождения. Более репрезентативный ездовой цикл является необходимым стимулом для реализации тех технологий сокращения выбросов ЗВ транспортными средствами, которые также являются наиболее эффективными в реальных условиях вождения.

Выбор цикла зависит от соотношения номинальной мощности испытываемого транспортного средства и его массы в снаряжённом состоянии минус 75 кг (P_{mr} , Вт/кг), а также от его максимальной скорости (v_{max} , км/ч):

- для транспортных средств класса 1 должно соблюдаться условие: $P_{mr} \leq 22$ Вт/кг;
- для транспортных средств класса 2: $22 > P_{mr} \leq 34$ Вт/кг;
- для транспортных средств класса 3: $P_{mr} > 34$ Вт/кг.

Транспортные средства класса 3 делятся на два подкласса в зависимости от их максимальной скорости, v_{max} :

- транспортные средства класса 3a с $v_{max} < 120$ км/ч;
- транспортные средства класса 3b с $v_{max} \geq 120$ км/ч.

Все полные электромобили, гибридные электромобили и гибридные транспортные средства на топливных элементах, работающие на сжатом водороде, считаются транспортными средствами класса 3.

Полный цикл WLTC состоит из фазы низкой скорости (Low), фазы средней скорости (Medium), фазы высокой скорости (High) и фазы сверхвысокой скорости (Extra High). Кривые изменения скорости несколько отличаются для транспортных средств вышеперечисленных классов, особенно в области высоких скоростей. Пример ездового цикла WLTC для транспортных средств категории 3b показан на рис. 5.

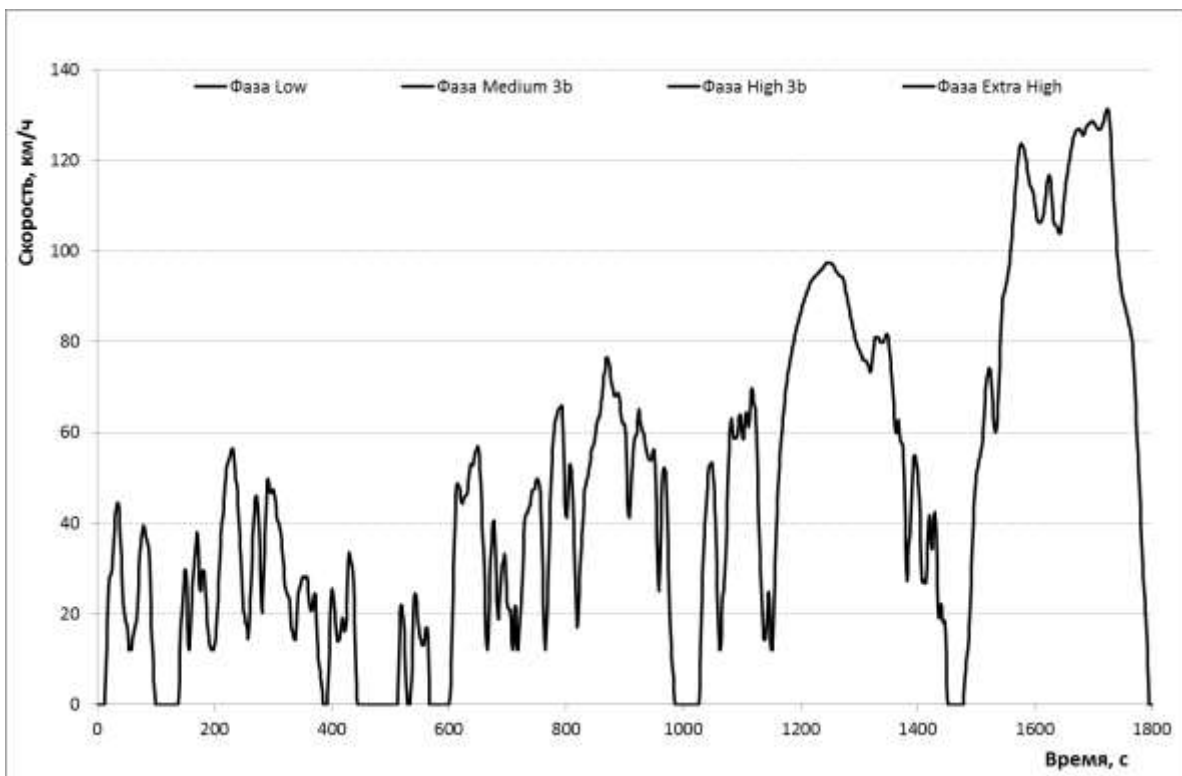


Рис. 5. Схема всемирно согласованного ездового цикла для транспортных средств малой грузоподъемности (WLTC)

Общие параметры цикла WLTC:

- средняя скорость (ориентировочно): 53,8 км/ч;
- время испытания: 1800 с;
- теоретическое расстояние, пройденное за ездовой цикл (ориентировочно): 23300 м.

1.2.5. Требования к режимам работы ДВС

Режимом работы ДВС называют сочетание текущих значений частоты вращения коленчатого вала и преодолеваемого крутящего момента. Различают установившиеся и неустойчивые режимы работы. **Установившимся режимом** называют такой режим, на котором ДВС работает относительно продолжительное время¹, за которое все исследуемые характеристики ДВС успевают стабилизироваться. Если переход от одного режима к другому происходит быстро², то говорят о **неустойчивых режимах**.

Характер протекания рабочего процесса в камере сгорания ДВС на различных режимах работы может существенно различаться. Это, в свою очередь, приводит к существенному³ изменению показателей энергоэффективности и состава отработавших газов.

Автотранспортные ДВС работают практически во всём возможном диапазоне режимов работы – от режима холостого хода до режима максимальной мощности (номинального режима).

Характер изменения режимов работы ДВС в эксплуатации определяется характером движения автомобиля, параметрами и настройками его трансмиссии, дорожными условиями и другими факторами. При сертификации ДВС испытания проводят на определённых режимах, характеризующих наиболее представительные (типичные) условия их работы в реальной эксплуатации. Последовательную серию режимов испытаний называют **испытательным циклом**.

¹ Как правило, несколько минут.

² Как правило, за доли секунды.

³ От десятков процентов до десятков раз.

Правила ЕЭК ООН №49, начиная с пересмотра № 3, предусматривают три испытательных цикла:

- 1) **ESC** (англ. *European Stationary Cycle* – **Европейский стационарный цикл**) – цикл из 13 установившихся режимов работы двигателя (применяется для определения удельных выбросов ЗВ);
- 2) **ELR** (англ. *European Load Routine* – **Европейская нагрузочная процедура**) – цикл из нескольких ступенчатых изменений нагрузки при определённых частотах вращения (применяется для определения дымности ОГ);
- 3) **ETC** (англ. *European Transient Cycle* – **Европейский неустановившийся цикл**) – последовательность 1800 посекундно изменяемых неустановившихся режимов работы ДВС (применяется для определения удельных выбросов ЗВ).

В рамках процесса гармонизации испытательных процедур, используемых в разных странах для сертификации ДВС, были созданы т.н. Глобальные технические предписания (ГТП ООН). ГТП ООН №4 содержат описание двух испытательных циклов для ДВС: стационарного и нестационарного.

Правила ЕЭК ООН №49, начиная с пересмотра № 5, предусматривают два альтернативных испытательных цикла, разработанных в рамках ГТП № 4, окончательный переход на которые предусмотрен в пересмотре №6:

- 1) **WHSC** (англ. *World Harmonized Stationary Cycle* – **Всемирно гармонизированный стационарный цикл**) – цикл из 13 установившихся режимов работы двигателя (применяется для определения удельных выбросов ЗВ);
- 2) **WHTC** (англ. *World Harmonized Transient Cycle* – **Всемирно гармонизированный нестационарный цикл**) – последовательность 1800 посекундно изменяемых неустановившихся режимов работы двигателя (применяется для определения удельных выбросов ЗВ).

1.2.5.1. Испытательный цикл ESC

Испытательная процедура ESC представляет собой последовательность 13 установившихся режимов работы ДВС. Режимы

испытаний задаются в **нормализованном виде**, т.е. в виде сочетания относительной частоты вращения и относительного крутящего момента. Каждому режиму присвоен **коэффициент весомости**, отражающий частоту встречаемости данного режима в реальной эксплуатации. Для конкретного испытуемого ДВС производится пересчёт заданных нормализованных (относительных) значений частоты вращения и крутящего момента (в %) в абсолютные значения (в мин^{-1} и Н·м соответственно).

Для определения режимов испытаний в цикле ESC:

- определяется кривая полезной мощности при полной подаче топлива¹ (внешняя скоростная характеристика, ВСХ);
- определяются «низкая» (n_{Lo}) и «высокая» (n_{Hi}) частоты вращения коленчатого вала двигателя, соответствующие 50% и 70% от максимальной мощности P_{max} (рис. 6);

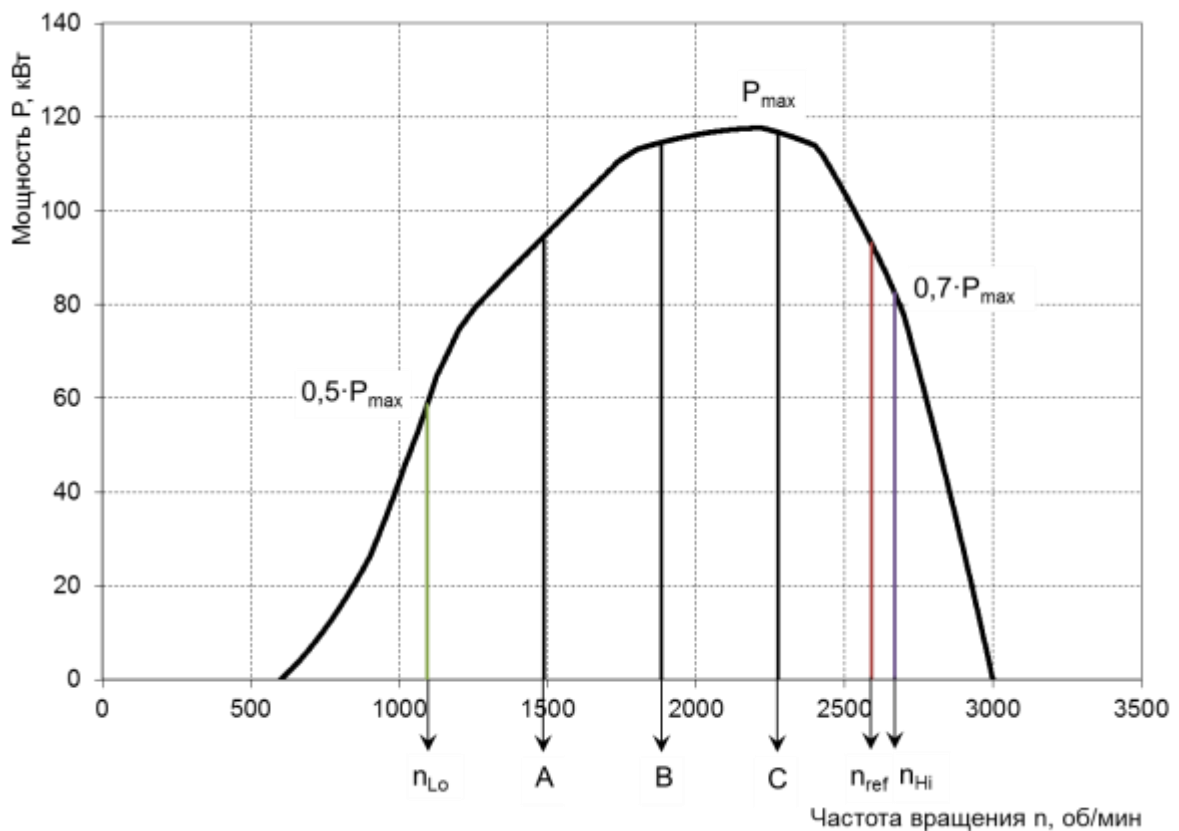


Рис. 6. Референтные частоты вращения ДВС согласно процедуре ESC

¹ Согласно Правилам №85 ЕЭК ООН.

- определяются частоты вращения «А», «В», «С» по формулам

$$\begin{aligned} A &= n_{Lo} + 0,25 \cdot (n_{Hi} - n_{Lo}); \\ B &= n_{Lo} + 0,5 \cdot (n_{Hi} - n_{Lo}); \\ C &= n_{Lo} + 0,75 \cdot (n_{Hi} - n_{Lo}); \end{aligned} \quad (2)$$

где n_{Hi} – «высокая» частота вращения коленчатого вала ДВС, мин^{-1} ;

n_{Lo} – «низкая» частота вращения коленчатого вала ДВС, мин^{-1} ;

- рассчитываются 13 стационарных (установившихся) режимов работы для конкретного ДВС.

Приступают к последовательному выполнению этапов испытания. Двигатель работает в течение предписанного периода времени в каждом режиме, причём частота вращения двигателя и нагрузка должны достигаться в первые 20 секунд. Предписанную частоту вращения поддерживают в пределах $\pm 50 \text{ мин}^{-1}$, а предписанный крутящий момент – в пределах $\pm 2\%$ максимального крутящего момента по ВСХ для частоты вращения, на которой проводится испытание.

Визуализация режимов испытания ESC показана на рис. 7.

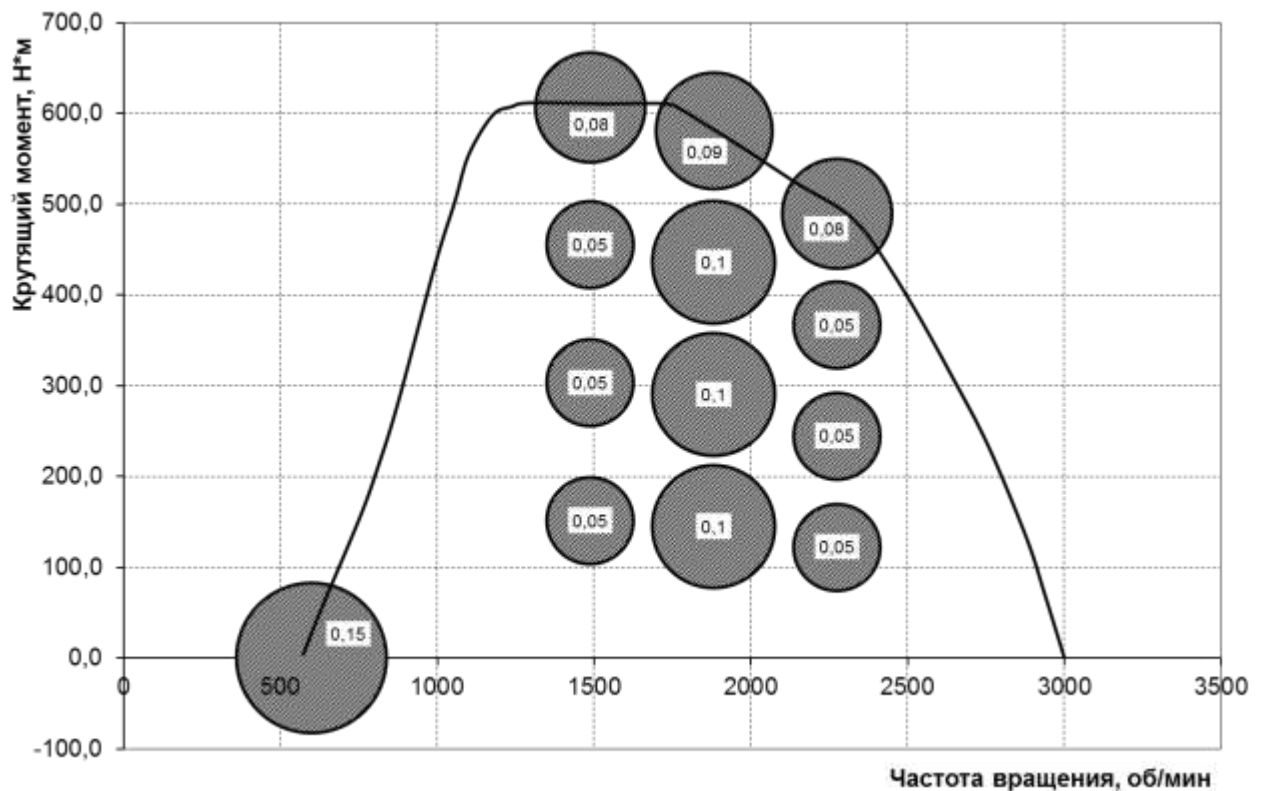


Рис. 7. Режимы испытаний ДВС согласно процедуре ESC. Размер «пузырей» соответствует весомости каждого режима

1.2.5.2. Испытательный цикл ELR

Референтные частоты вращения «А», «В» и «С» для задания режимов испытаний ELR определяются так же, как и в случае испытательного цикла ESC по формулам (2).

Испытательный цикл ELR представляет собой последовательность ступенчатого изменения частоты вращения и нагрузки (рис. 8). Испытание состоит из трёх основных циклов и одного дополнительного. Каждый основной цикл состоит из трёх последовательных ступенчатых изменений нагрузки от 10% до 100% для каждой частоты вращения, равной «А», «В» и «С». Дополнительный цикл состоит из трёх последовательных ступенчатых изменений нагрузки от начального значения до 100% для частоты вращения, лежащей в диапазоне от «А» до «С». Конкретные значения начальной нагрузки и частоты вращения задаются органом по сертификации.

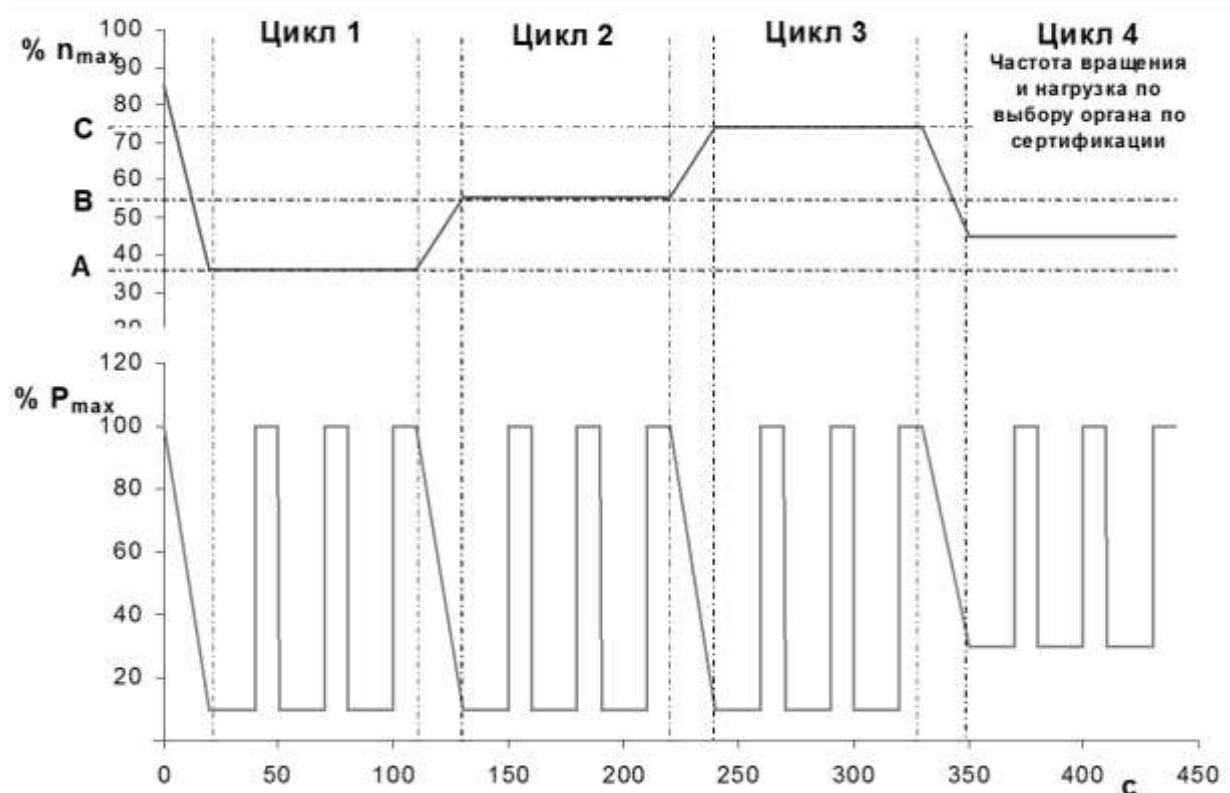


Рис. 8. Режимы испытаний ДВС согласно процедуре ELR

Последовательность проведения испытания ELR:

а) двигатель должен проработать на частоте вращения «А» и при 10%-ной нагрузке в течение 20 ± 2 с. Установленная частота вращения не

должна выходить за пределы допустимого отклонения $\pm 20 \text{ мин}^{-1}$, а предписанный крутящий момент – за пределы допустимого отклонения $\pm 2\%$ максимального крутящего момента при соответствующей частоте вращения, используемой в ходе испытания;

б) в момент окончания предыдущего этапа рычаг управления подачей топлива необходимо быстро передвинуть и затем удерживать в положении полного открытия в течение $10 \pm 1 \text{ с}$. Должна прилагаться необходимая динамометрическая нагрузка для поддержания частоты вращения двигателя в диапазоне $\pm 150 \text{ мин}^{-1}$ в течение первых трёх секунд и в диапазоне $\pm 20 \text{ мин}^{-1}$ в течение оставшейся части этапа;

в) последовательные операции а) и б) повторяются два раза;

г) по завершении третьего этапа повышения нагрузки двигатель необходимо в течение $20 \pm 2 \text{ с}$ отрегулировать на частоту вращения «В» при 10%-ной нагрузке;

д) при работе двигателя на частоте вращения «В» выполняют последовательные операции а)...в);

е) по завершении третьего этапа повышения нагрузки двигатель необходимо в течение $20 \pm 2 \text{ с}$ отрегулировать на частоту вращения «С» при 10-% нагрузке;

ж) при работе двигателя на частоте вращения «С» выполняют последовательные операции а)...в);

з) по завершении третьего этапа повышения нагрузки двигатель необходимо в течение $20 \pm 2 \text{ с}$ отрегулировать на выбранную органом по сертификации частоту вращения при любой нагрузке, превышающей 10% от максимальной;

и) при работе двигателя на выбранной частоте вращения выполняют последовательные операции а)...в).

1.2.5.3. Испытательный цикл ETC

Режимы испытательного цикла ETC определяются следующим образом:

- определяется кривая крутящего момента при полной подаче топлива¹ (внешняя скоростная характеристика);

¹ Согласно Правилам №85 ЕЭК ООН.

- определяются «низкая» n_{Lo} и «высокая» n_{Hi} частоты вращения коленчатого вала двигателя, соответствующие 50% и 70% от максимальной мощности P_{max} (рис. 6);
- определяется «референтная» частота вращения n_{ref} (рис. 6) по формуле

$$n_{ref} = n_{Lo} + 0,95 \cdot (n_{Hi} - n_{Lo}), \quad (3)$$

где n_{Hi} – «высокая» частота вращения коленчатого вала ДВС, мин^{-1} ;
 n_{Lo} – «низкая» частота вращения коленчатого вала ДВС, мин^{-1} ;

- пересчитывается график изменения частоты вращения из относительных величин (n_{rel} , %) в абсолютные (n , мин^{-1}) для конкретного двигателя по формуле

$$n = \frac{n_{rel}(n_{ref} - n_{idle})}{100} + n_{idle}, \quad (4)$$

где n_{rel} – нормализованная (относительная) частота вращения, %;
 n_{ref} – «референтная» частота вращения, определяемая по формуле (2), мин^{-1} ;
 n_{idle} – частота вращения холостого хода, мин^{-1} ;

- пересчитывается график изменения нагрузки из относительных величин (M_{rel} , %) в абсолютные (M , Н·м) для конкретного двигателя по формуле

$$M = \frac{M_{rel} \cdot M_{BCXmax}}{100}, \quad (5)$$

где M_{rel} – нормализованный (относительный) крутящий момент, %;
 M_{BCXmax} – максимальный крутящий момент по ВСХ при соответствующей частоте вращения, Н·м.

При этом следует учитывать отрицательные значения крутящего момента в точках, где происходит прокрутка двигателя (режимы принудительного холостого хода); абсолютные значения крутящего момента определяют при этом одним из следующих способов:

а) значение крутящего момента принимают равным минус 40% значения положительного крутящего момента, достигаемого при соответствующей частоте вращения по ВСХ;

б) строят характеристику принудительного холостого хода двигателя и снимают с неё значения момента сопротивления прокрутке при соответствующей частоте вращения;

в) определяют значения крутящего момента, требуемого для прокрутки двигателя при частоте вращения холостого хода и «референтной» частоте вращения, а мгновенные значения момента сопротивления прокрутке определяют методом линейной интерполяции между этими двумя точками;

- воспроизводится испытательный цикл переходных (неустановившихся) режимов (рис. 9).

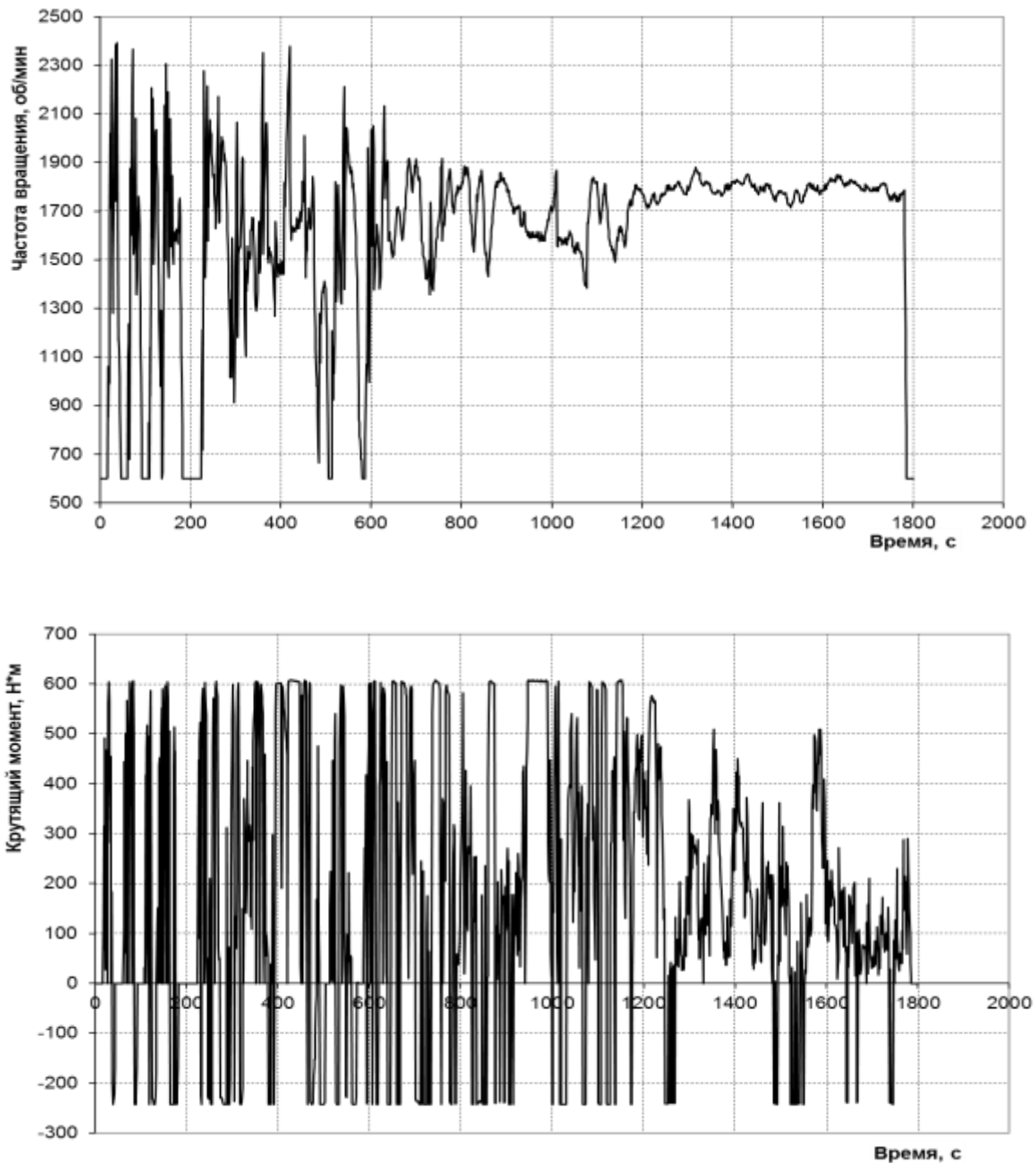


Рис. 9. Режимы испытаний ДВС согласно процедуре ETC

Визуализация частоты встречаемости (весомости) режимов работы ДВС при реализации испытательного цикла ETC показана на рис. 10.

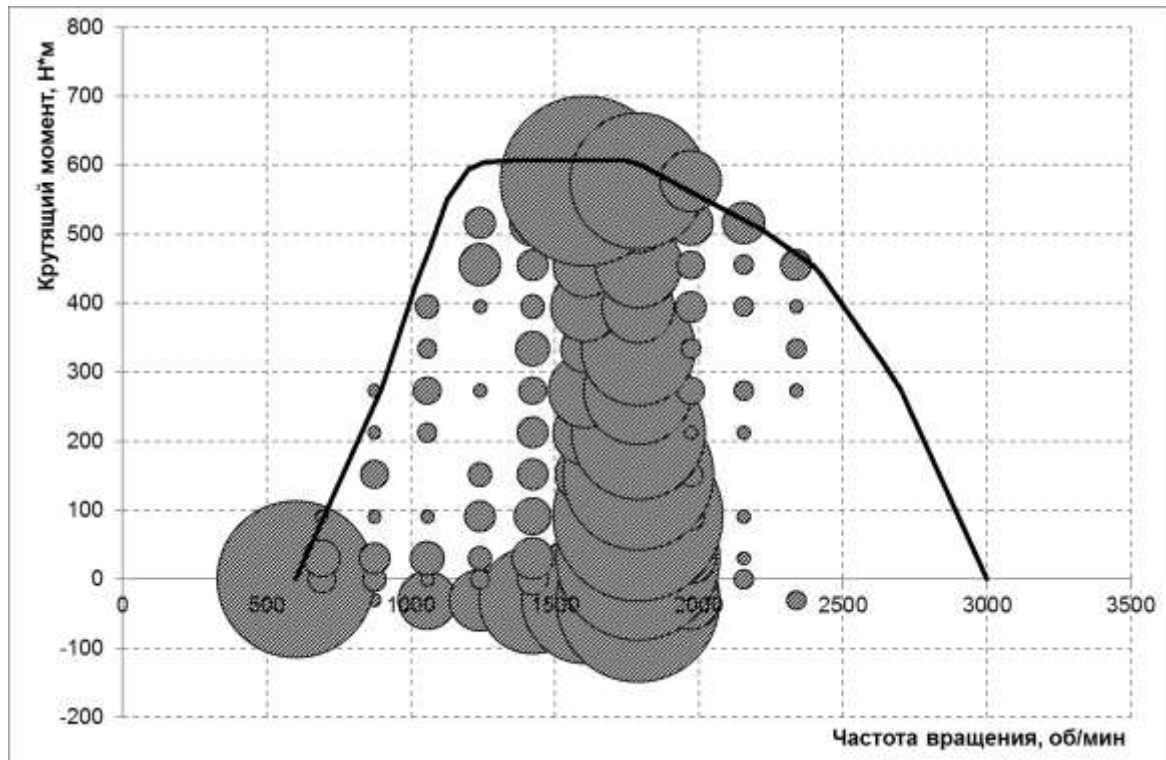


Рис. 10. Режимы испытаний ДВС согласно процедуре ETC. Размер «пузырей» соответствует весомости каждого режима

1.2.5.4. Испытательный цикл WHSC

Испытательный цикл WHSC представляет собой последовательность 13 установившихся режимов работы ДВС. Режимы испытаний задаются в нормализованном виде, т.е. в виде сочетания относительной частоты вращения и относительного крутящего момента. Каждому режиму присвоен коэффициент весомости, отражающий частоту встречаемости данного режима в реальной эксплуатации. Для конкретного ДВС производится пересчёт заданных нормализованных (относительных) значений частоты вращения и крутящего момента (в %) в абсолютные значения (в мин^{-1} и $\text{Н}\cdot\text{м}$ соответственно).

Для задания режимов испытаний в цикле WHSC:

- определяется кривая внешней скоростной характеристики;
- определяются «низкая» n_{L0} и «высокая» n_{H1} частоты вращения коленчатого вала двигателя, соответствующие 50% и 70% от максимальной мощности P_{\max} (рис. 6);

- определяется частота вращения n_{95H} , соответствующая 95% максимальной мощности, и «предпочтительная» частота вращения n_{pref} , отсекающая 51% площади под кривой крутящего момента по ВСХ (рис. 11);

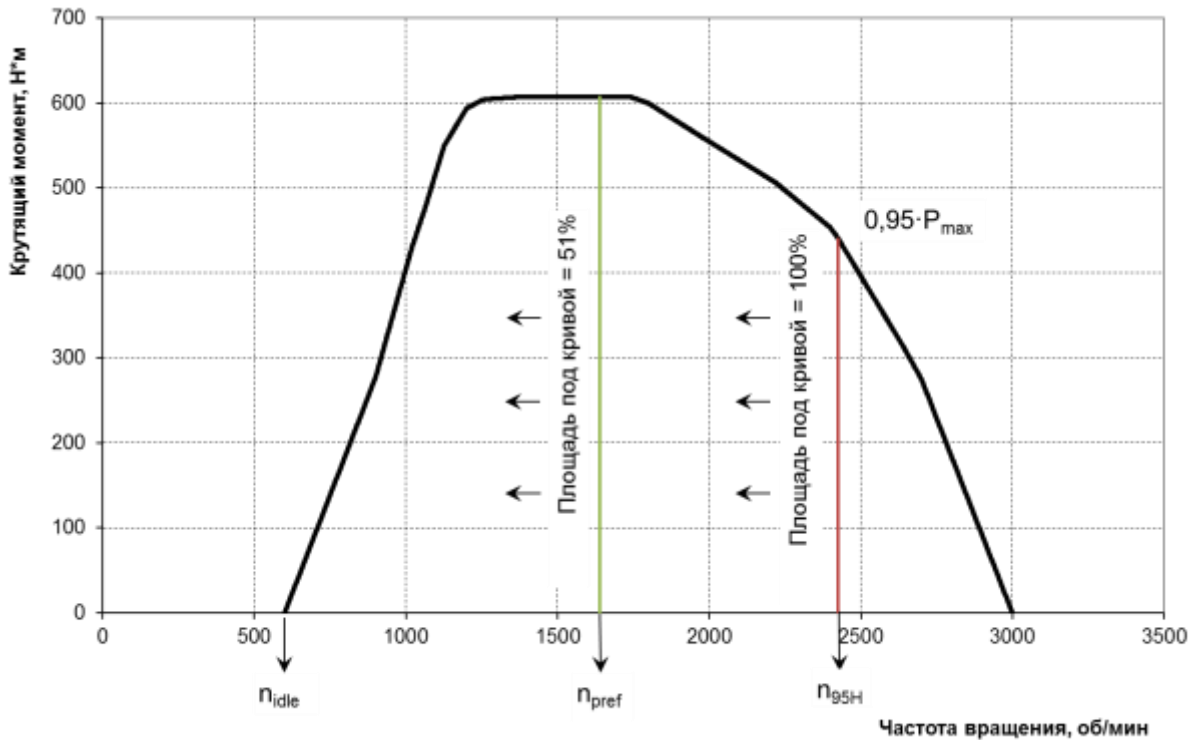


Рис. 11. Референтные частоты вращения ДВС согласно процедуре WHSC

- рассчитываются 13 стационарных (установившихся) режимов работы для конкретного ДВС. Пересчёт заданных значений частот вращения из относительных величин (n_{rel} , %) в абсолютные (n , мин^{-1}) для конкретного двигателя осуществляется по формуле

$$n = \frac{n_{rel}}{100} (0,45 \cdot n_{Lo} + 0,45 \cdot n_{pref} + 0,1 \cdot n_{Hi}) \cdot 2,0327 + n_{idle}, \quad (6)$$

- где n_{rel} — нормализованная (относительная) частота вращения, %;
- n_{pref} — «предпочтительная» частота вращения, мин^{-1} ;
- n_{Hi} — «высокая» частота вращения коленчатого вала ДВС, мин^{-1} ;
- n_{Lo} — «низкая» частота вращения коленчатого вала ДВС, мин^{-1} .

Пересчёт заданных значений нагрузки из относительных величин (M_{rel} , %) в абсолютные (M , Н·м) для конкретного двигателя осуществляется по формуле

$$M = \frac{M_{rel} \cdot M_{BCXmax}}{100}, \quad (7)$$

где M_{rel} – нормализованный (относительный) крутящий момент, %;
 M_{BCXmax} – максимальный крутящий момент при соответствующей частоте вращения (по внешней скоростной характеристике), Н·м.

Визуализация режимов испытания WHSC показана на рис. 12. При этом кроме показанных на рисунке режимов, при расчёте удельных выбросов учитывается ещё один «скрытый» режим, соответствующий прокрутке двигателя (принудительный холостой ход). Весомость этого режима принимается равной 0,24.

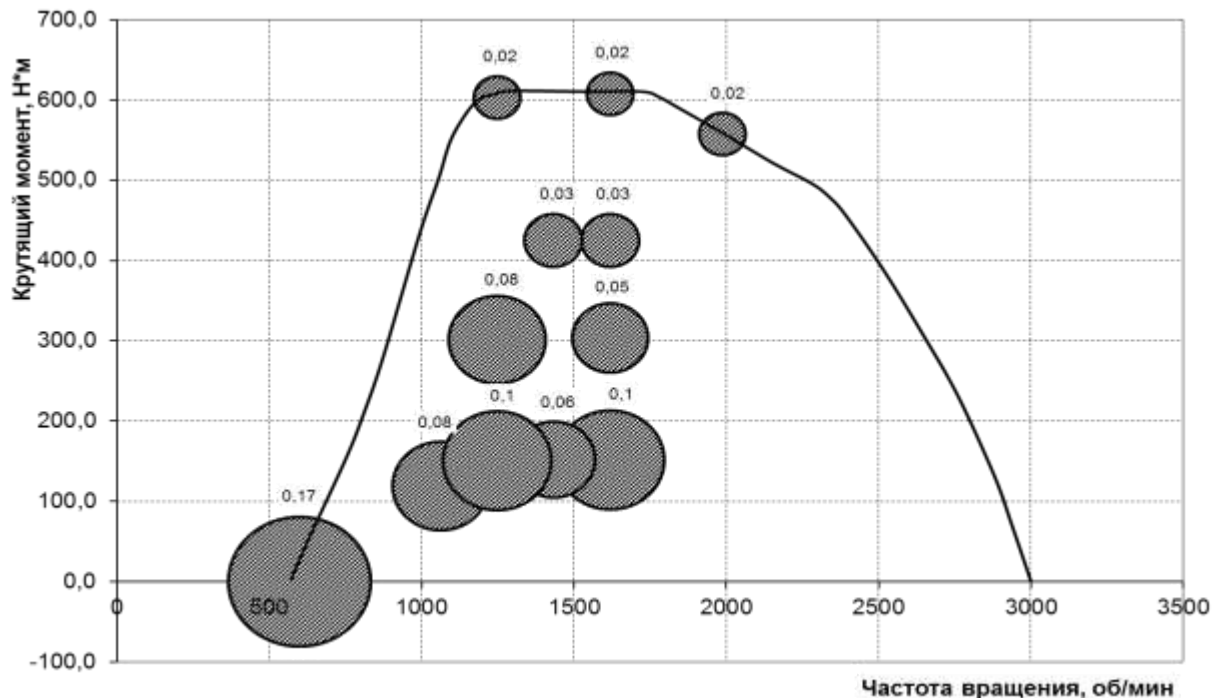


Рис. 12. Режимы испытаний ДВС согласно процедуре WHSC. Размер «пузырей» соответствует весомости каждого режима

Сравнивая рис. 7 и 12 можно убедиться, что преобладающая область рабочих режимов ДВС при всемирно гармонизированном цикле испытаний WHSC смещена в сторону меньших нагрузок и частот вращения по сравнению с европейским испытательным циклом ESC.

1.2.5.5. Испытательный цикл WHTC

Режимы цикла WHTC определяются следующим образом:

- определяется кривая ВСХ;
- определяются «низкая» n_{Lo} и «высокая» n_{Hi} частоты вращения коленчатого вала двигателя, соответствующие 50% и 70% от максимальной мощности P_{max} (см. рис. 6);
- определяется «предпочтительная» частота вращения n_{pref} ;
- пересчитывается график изменения частоты вращения из относительных величин (n_{rel} , %) в абсолютные (n , мин-1) для конкретного двигателя по формуле (6);
- пересчитывается график изменения нагрузки из относительных величин (M_{rel} , %) в абсолютные (M , Н·м) для конкретного двигателя по формуле (7);
- воспроизводится испытательный цикл (рис. 13).

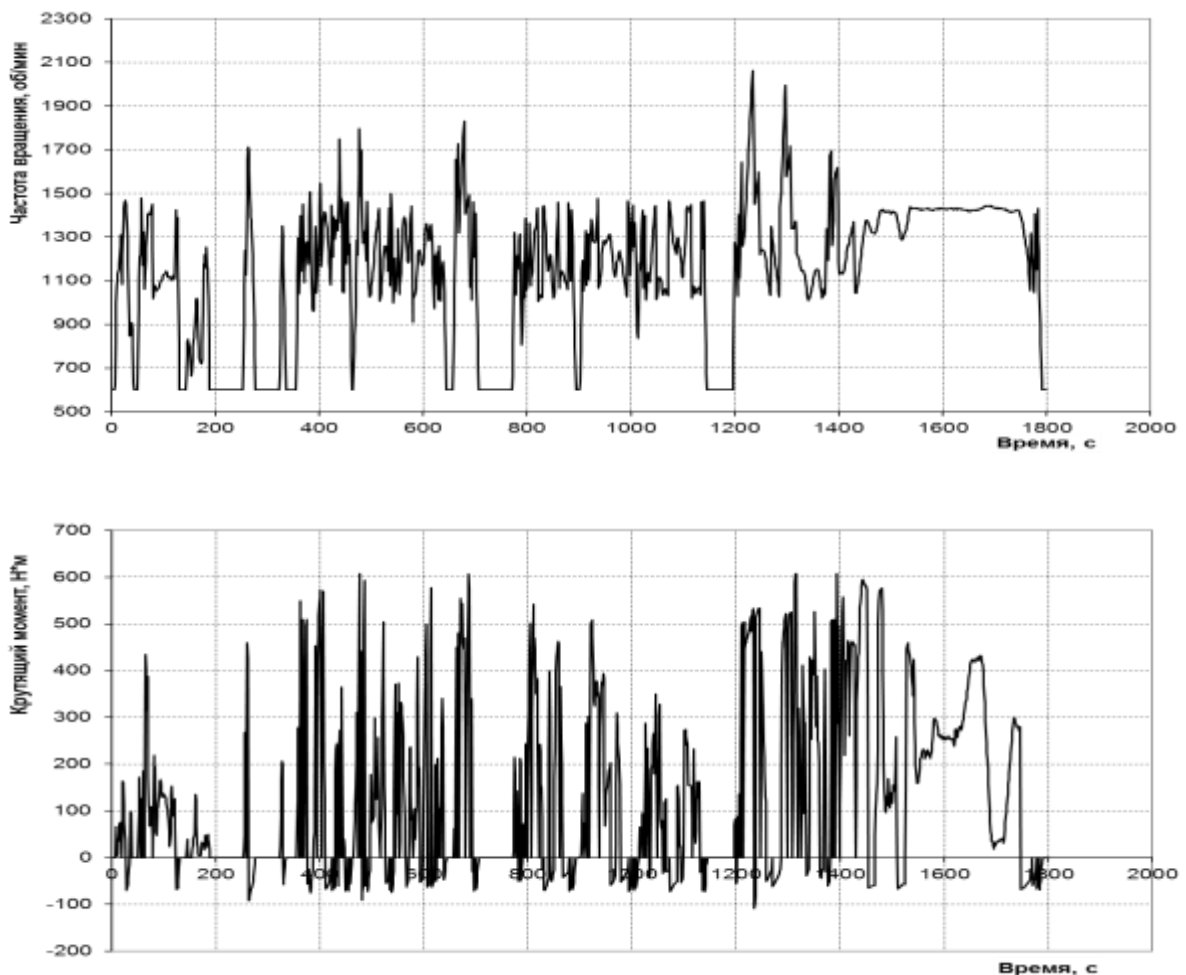


Рис. 13. Режимы испытаний ДВС согласно процедуре WHTC

Визуализация частоты встречаемости (весомости) режимов работы ДВС при реализации испытательного цикла ETC показана на рис. 14.

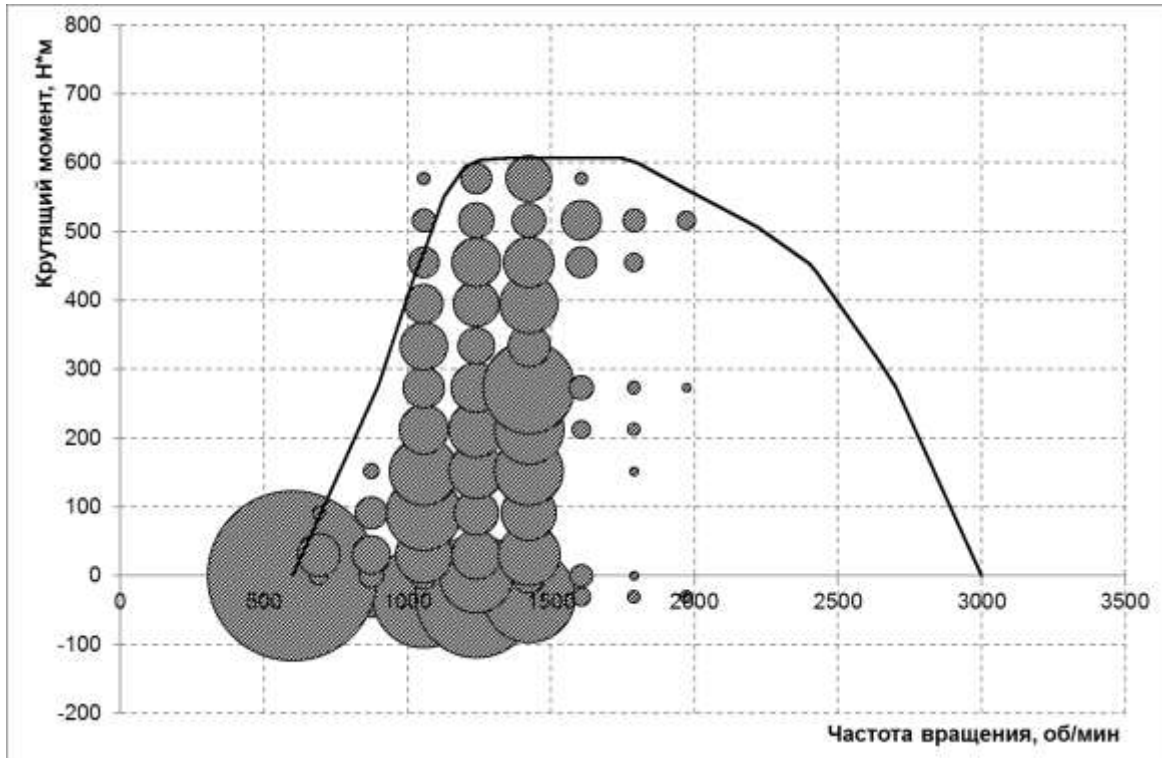


Рис. 14. Режимы испытаний ДВС согласно процедуре WHTC. Размер «пузырей» соответствует весоности каждого режима

Сравнивая рис. 10 и 14 можно убедиться, что преобладающая область рабочих режимов ДВС при испытаниях WHTC смещена в сторону меньших нагрузок и частот вращения.

Контрольные вопросы и задания к главе 1

1. Перечислите существующие программы контроля экологических характеристик АТС по этапам их жизненного цикла.
2. Опишите существующие в мире системы сертификации АТС и их двигателей по экологически значимым показателям.
3. Приведите классификацию АТС, используемую в России и Европе.
4. Перечислите показатели, определяющие эталонные условия проведения испытаний при экологической сертификации АТС.
5. Опишите требования к эталонным режимам движения АТС.
6. Опишите требования к эталонным режимам работы ДВС.

2. ПРОЦЕДУРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СЕРТИФИКАЦИИ АТС

2.1. Максимальная скорость, расход топлива, полезная мощность двигателя

2.1.1. Правила ЕЭК ООН №68 (максимальная скорость)

Правила №68 применяются для сертификации лёгких АТС категорий М1 и N1 в отношении измерения максимальной скорости.

Транспортное средство должно быть чистым, окна и вентиляционные отверстия должны быть закрыты; для проведения испытаний должны быть включены только те вспомогательные приборы, которые необходимы для работы транспортного средства.

Масса транспортного средства должна соответствовать массе в снаряжённом состоянии, увеличенной на 180 кг, или на половину массы груза, если она превышает 180 кг.

Тяговая батарея электромобилей должна заряжаться при помощи бортового зарядного устройства (если оно предусмотрено) либо портативного зарядного агрегата, рекомендованного для использования заводом-изготовителем. Данная процедура должна осуществляться в виде обычной ночной подзарядки. Температура окружающей среды при этом должна составлять 20...30 °С.

В течение семидневного периода до проведения испытания электромобиль должен пройти, по крайней мере, 300 км на батареях, которые будут установлены на нём для измерения максимальной скорости.

После полной подзарядки электромобиль должен быть выдержан, по крайней мере, в течение двух часов при температуре 20...30 °С.

После выдерживания электромобиля при заданной температуре и непосредственно перед началом испытания он должен пройти, как минимум, пять километров на скорости, составляющей 80% от максимальной 30-минутной скорости.

Эталонные атмосферные условия проведения испытания соответствуют варианту №2 (см. главу 1.2.3).

Плотность воздуха D во время испытания не должна отличаться

более чем на 7,5% от плотности воздуха при эталонных условиях ($D_0 = 1,189 \text{ кг/м}^3$).

Пройденное расстояние L и время, затраченное для прохождения этого расстояния t , должны определяться с достаточной точностью, для того чтобы погрешность величины измеренной скорости V не превышала 1%.

Измерение максимальной скорости АТС проводится:

- либо на прямом треке;
- либо на кольцевом треке.

2.1.1.1. Измерение максимальной скорости АТС на прямом треке

Прямой трек состоит из двух смежных участков: разгонного и измерительного. Длина разгонного участка должна быть достаточной для того, чтобы АТС достигло максимальной скорости до въезда на измерительный участок.

Длина L измерительного участка должна определяться с учётом точности аппаратуры и метода, применяемого для измерения времени t пробега, таким образом, чтобы величина фактической скорости могла устанавливаться с точностью до $\pm 1\%$. Для электромобилей длина зоны измерения должна составлять, по крайней мере, 1000 м.

Поверхность трека должна иметь твёрдое покрытие, быть ровной и обеспечивать хорошее сцепление с колёсами АТС. Величина продольного уклона трека не должна превышать 0,5%, величина поперечного уклона не должна превышать 3%.

Часть кольцевого трека может приравниваться к «прямому треку», если центробежная сила инерции составляет менее 20% от первоначального веса АТС и компенсируется поперечным наклоном участка, на котором проводится испытание.

Процедура испытаний состоит в следующем: подготовленное АТС устанавливается в начале разгонного участка, после чего осуществляется разгон с полной подачей топлива (максимальным нажатием на педаль акселератора). АТС должно набрать максимальную скорость к началу измерительного участка. Во время прохождения измерительного участка необходимо следить за тем, чтобы мгновенная скорость АТС не изменялась более чем на 2%. Измерение времени t начинается в момент пересечения передним габаритом АТС линии

начала измерительного участка, а завершается – в момент пересечения передним габаритом АТС линии конца измерительного участка. Такая процедура повторяется по меньшей мере три раза в прямом и обратном направлениях; при этом разница предельных величин шести зафиксированных назначений t не должна превышать 3%. За время прохождения испытательного участка \bar{t} принимается среднее арифметическое этих шести измерений. Скорость прохождения измерительного участка (максимальная скорость АТС) определяется по формуле

$$V = \frac{3,6 \cdot L}{\bar{t}}, \quad (8)$$

где V – скорость, км/ч;

L – длина измерительного участка, м;

\bar{t} – среднее время прохождения измерительного участка, с.

2.1.1.2. Измерение максимальной скорости АТС на кольцевом треке

Длина **кольцевого трека** должна быть не менее 2000 м. Трасса кольцевого трека должна представлять собой выпуклую кривую в плане, которая может переходить из идеальной окружности в прямую. Минимальный радиус поворотов должен равняться 200 м. Воздействие центробежной силы должно компенсироваться на поворотах поперечным профилем дороги, позволяющим сохранять обычное положение АТС без воздействия на рулевое колесо.

Процедура испытаний состоит в следующем: после разгона АТС определяется время t , необходимое для одного полного пробега по кольцевому треку. Осуществляются по крайней мере три измерения при неизменной траектории, т.е. траектории, на которой нет никакой необходимости в коррекции движения путём воздействия на рулевое колесо. Разница между предельными величинами t не должна превышать 3%. После этого определяется среднеарифметическое время \bar{t} и определяется максимальная скорость АТС по формуле (8), в которую вместо длины измерительного участка следует подставить длину кольцевого трека.

2.1.2. Правила ЕЭК ООН №84 (расход топлива)

Правила ЕЭК ООН №84 применяются к измерению потребления (расхода) топлива для всех АТС категории М1 и N1, максимальная масса которых не превышает 2 тонны.

Пробег до испытания АТС должен составлять не менее 3000 км.

До проведения испытания АТС должно находиться в месте, в котором поддерживается практически постоянная температура 20...30 °С. Это условие должно выполняться не менее 6 часов до тех пор, пока температура масла в двигателе и охлаждающей жидкости (при наличии) достигнет ± 2 °С температуры окружающего воздуха.

АТС должно быть чистым, стекла и воздухозаборники должны быть закрыты; работать должно только то оборудование, которое необходимо для проведения испытания. Как правило, должны работать вспомогательные устройства, необходимые для нормального функционирования АТС. Система обогрева салона должна быть отключена; также должна быть отключена система кондиционирования воздуха, однако её компрессор должен нормально функционировать.

Дневные ходовые огни АТС должны быть включены.

Эталонные атмосферные условия проведения испытания соответствуют варианту №2 (см. главу 1.2.3).

Плотность воздуха D во время испытания не должна отличаться более чем на 7,5% от плотности воздуха при эталонных условиях D_0 . Плотность воздуха во время испытания определяется по формуле (1).

Расстояния измеряются с точностью 0,3%, время измеряется с точностью до 0,2 с. Топливо поступает в двигатель через устройство, способное определять расход с точностью до $\pm 2\%$; это устройство не должно изменять давление топлива более чем на $\pm 10\%$ и температуру топлива – более чем на ± 5 °С.

АТС подвергается испытаниям при следующих режимах движения:

- городской ездовой цикл (см. рис. 2);
- движение с постоянной скоростью 90 км/ч;
- движение с постоянной скоростью 120 км/ч¹.

¹ Этот режим не используется, если максимальная конструктивная скорость АТС меньше 130 км/ч.

Результаты испытаний должны быть выражены в литрах на 100 км, причём значение округляется до ближайшего децилитра. Определение расхода топлива должно производиться с точностью $\pm 3\%$.

2.1.2.1. Измерение расхода топлива АТС в городском ездовом цикле

Транспортное средство испытывают на динамометрическом стенде, который обеспечивает имитацию сопротивления движению на дороге в зависимости от скорости АТС. При этом «контрольная масса» АТС категории М1 принимается равной собственной массе транспортного средства плюс условный вес 100 кг. Для АТС категории N1 «контрольная масса» транспортного средства при испытании равна собственной массе плюс 180 кг, либо половине нагрузки, если она превышает 180 кг, включая измерительную аппаратуру, пассажиров и водителя.

Испытательным циклом является городской цикл (рис. 2). Расход топлива определяется по количеству израсходованного топлива при последовательном прохождении двух циклов. Период холостого хода между двумя последовательными циклами может длиться не более 60 с.

2.1.2.2. Измерение расхода топлива АТС при постоянной скорости

Испытания могут проводиться либо на динамометрическом стенде, либо на дороге. Покрытие дороги должно быть сухим и в хорошем состоянии. Её продольный уклон не должен превышать $\pm 2\%$ между любыми двумя точками, взаимно удалёнными более, чем на 2 метра.

Если максимальная скорость АТС превышает 130 км/ч на наивысшей передаче, для определения расхода топлива используется только эта передача.

Расход топлива определяется по количеству израсходованного топлива при прохождении испытательного пробега.

Испытательный пробег должен иметь протяжённость не менее 2 км. Он должен осуществляться либо по замкнутому кольцу, либо на прямолинейном участке дороги (в этом случае испытательный пробег производится в обоих направлениях).

При испытательном пробеге должно обеспечиваться движение с постоянной скоростью. Во время каждого испытательного пробега должна поддерживаться постоянная скорость в пределах ± 2 км/ч.

2.1.2.3. Обработка результатов измерений

Если потребление топлива определяется с помощью гравиметрического метода, расход топлива FC выражается путём преобразования результата измерения M по формуле

$$FC_{и} = \frac{M}{L \cdot S_g} \cdot 100, \quad (9)$$

где $FC_{и}$ – измеренный расход топлива, л/100км;

M – масса израсходованного во время испытания топлива, кг;

L – расстояние, пройденное во время испытания, км;

S_g – плотность топлива при температуре 20 °С, кг/дм³.

Если потребление топлива определено с помощью объёмного метода, расход топлива FC выражается путём преобразования результата измерения V по формуле

$$FC_{и} = \frac{V(1 + \alpha(T_0 - T_F))}{L} \cdot 100, \quad (10)$$

где $FC_{и}$ – измеренный расход топлива, л/100 км;

V – объём израсходованного во время испытания топлива, км

L – расстояние, пройденное во время испытания, км;

α – коэффициент объёмного расширения топлива (для бензина и дизельного топлива этот коэффициент в обоих случаях составляет 0,001 на 1 °С);

T_0 – эталонная температура, равная 20 °С;

T_F – средняя температура топлива, равная средней арифметической температур, замеренных в устройстве измерения объёма топлива в начале и конце испытания, °С.

Значение измеренного расхода топлива корректируется для приведения его к эталонным условиям (100 кПа, 293 К (20 °С)) по следующей формуле

$$FC_{п} = FC_{и} \cdot k, \quad (11)$$

где $FC_{п}$ – приведённый к эталонным атмосферным условиям расход топлива, л/100 км;

$FC_{и}$ – измеренный расход топлива, л/100 км;

k – коэффициент приведения.

Коэффициент k определяется по формуле

$$k = \frac{R_r}{R_t} \cdot [1 + K_r \cdot (T - T_0)] + \frac{R_a}{R_t} \cdot \frac{D_0}{D}, \quad (12)$$

- где R_r – сопротивление качению при скорости испытания;
- R_a – аэродинамическое сопротивление при скорости испытания;
- R_t – общее сопротивление движению по дороге $R_t = R_r + R_a$;
- T – температура окружающей среды во время испытания, °С;
- T_0 – эталонная температура окружающей среды (20 °С);
- K_r – температурный корректировочный коэффициент сопротивления качению: $K_r = 3,6 \cdot 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$;
- D – плотность воздуха при условиях испытания, кг/м³;
- D_0 – плотность воздуха при эталонных условиях, $D_0 = 1,189$ кг/м³.
- Соотношения $\frac{R_r}{R_t}$ и $\frac{R_a}{R_t}$ сообщаются заводом-изготовителем АТС на

основе обычно имеющих на предприятии данных.

2.1.3. Правила ЕЭК ООН №85 (мощность двигателя)

Правила ЕЭК ООН №85 применяются для построения кривой мощности в зависимости от числа оборотов двигателя при полной нагрузке, указанной заводом-изготовителем для ДВС, предназначенных для приведения в движение АТС категорий М и N.

Под «**полезной мощностью**» подразумевается мощность, полученная на испытательном стенде на хвостовике коленчатого вала или его эквивалента при соответствующей частоте вращения. При этом на двигателе должны быть установлены все вспомогательные механизмы, необходимые для его нормальной работы, например, воздушный фильтр, глушитель шума всасывания, подогревательное устройство впускного коллектора, система очистки отработавших газов, глушитель шума выхлопа, устройство наддува, оборудование системы охлаждения, электрогенератор и т.п.

Вспомогательные механизмы, которые необходимы только для работы транспортного средства, например воздушный компрессор тормозной системы, насос гидроусилителя рулевого управления, система кондиционирования воздуха и т.п., при проведении испытания должны быть сняты.

Эталонные атмосферные условия соответствуют варианту №1 (см. главу 1.2.3).

Испытание для определения полезной мощности должно проводиться при полностью открытой дроссельной заслонке для ДВСПВ и при постоянной полной нагрузке насоса для впрыска топлива для ДВСВС. Измерения должны проводиться на установившихся режимах работы. Не следует производить никаких измерений до тех пор, пока крутящий момент, частота вращения и температура не будут практически постоянными в течение по крайней мере 1 минуты.

Измерения должны проводиться при различной частоте вращения двигателя. Количество измерений должно быть достаточно для правильного определения кривой мощности между наиболее низким и наиболее высоким значениями частоты вращения, указанными заводом-изготовителем. Измерениями необходимо выявить два режима: **режим максимальной мощности** и **режим максимального крутящего момента** (см. рис. 15).

Измеряются частота вращения n и соответствующий ей крутящий момент M . Далее, по измеренным значениям вычисляется фактическая полезная мощность N по формуле

$$N = M \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot n \cdot 10^{-3}, \quad (13)$$

где N – фактическая полезная мощность, кВт;

M – измеренный крутящий момент, Н·м;

n – измеренная частота вращения коленчатого вала двигателя, мин⁻¹.

В случае отличия фактических атмосферных условий от эталонных, производится приведение полезной мощности к эталонным условиям по формуле

$$N_0 = N \cdot (\alpha)^{f_M}, \quad (14)$$

где N_0 – приведённая полезная мощность, кВт;

N – фактическая полезная мощность, кВт;

α – коэффициент, учитывающий атмосферные условия;

f_M – коэффициент, учитывающий характеристики двигателя.

Коэффициент α определяется по формулам

- для ДВСПВ
$$\alpha = \left(\frac{P}{P_{S0}}\right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{0,6},$$
- для ДВСВС без наддува или с механическим наддувом
$$\alpha = \left(\frac{P}{P_{S0}}\right)^1 \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{0,7}, \quad (15)$$
- для ДВСВС с турбонаддувом
$$\alpha = \left(\frac{P}{P_{S0}}\right)^{0,7} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{1,5}.$$

Коэффициент f_M определяется по формулам

- для ДВСПВ –
$$f_M = 1;$$
- для ДВСВС –
$$f_M = 0,3 \text{ при } q_c < 40,$$

$$f_M = 0,036 \cdot q_c - 1,14 \text{ при } 40 \leq q_c \leq 65,$$

$$f_M = 1,2 \text{ при } q_c > 65,$$

$$q_c = \frac{q}{r},$$
(16)

где q – цикловая подача топлива на литр общего рабочего объёма двигателя, мг/(л·цикл);

r – степень наддува, т.е. отношение давлений на выходе и входе компрессора ($r = 1$ для двигателей без наддува).

По результатам испытаний строят кривые полезной мощности и крутящего момента в зависимости от частоты вращения двигателя, которые называются внешней скоростной характеристикой¹ (ВСХ) двигателя (см. рис. 15).

Точность измерений крутящего момента должна составлять $\pm 1\%$; частоты вращения – $\pm 0,5\%$; температуры воздуха – ± 2 К; атмосферного давления – ± 100 Па; давления во впускной системе – ± 50 Па; давления в системе выпуска – ± 200 Па; расхода топлива – $\pm 1\%$, температуры топлива – ± 2 К.

¹ Помимо кривых мощности и крутящего момента на внешней скоростной характеристике могут изображать кривые других параметров.

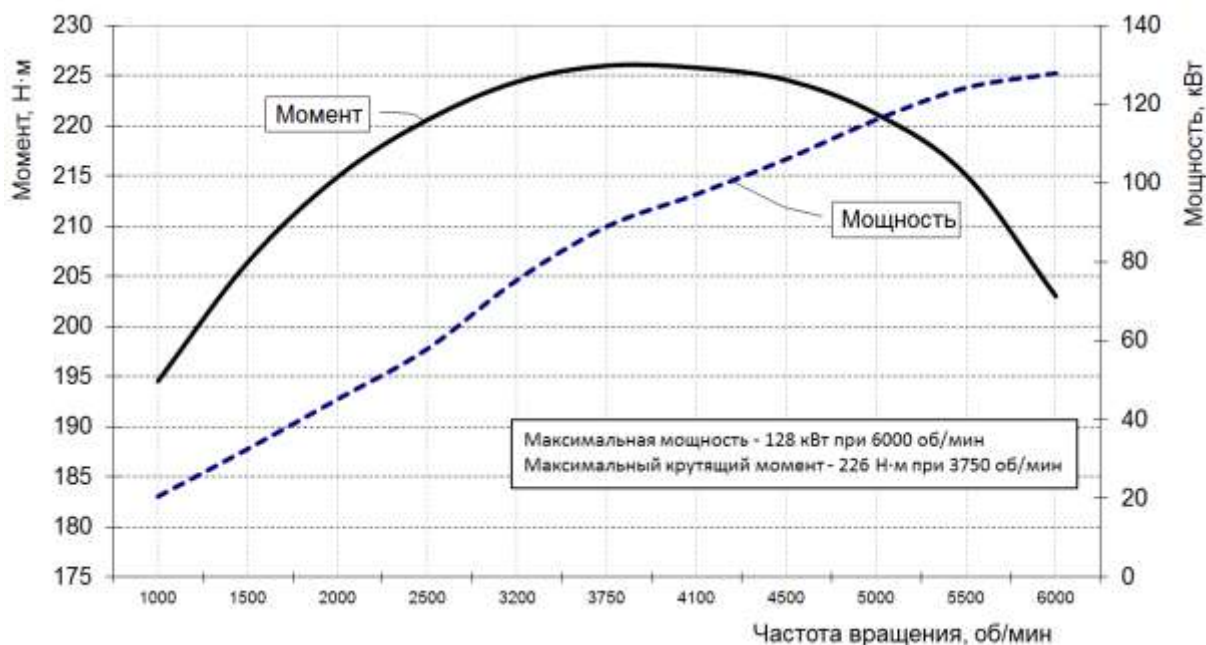


Рис. 15. Внешняя скоростная характеристика двигателя

Характеристики полезной мощности и крутящего момента используются в нескольких Правилах ЕЭК ООН для определения режимов испытаний, а также для вычисления удельных показателей расхода топлива и выбросов ЗВ.

2.1.4. Правила ЕЭК ООН №101 (расход топлива и выбросы CO₂)

Правила № 101 определяют условия измерения объема выбросов углерода диоксида (CO₂) и расхода топлива и/или измерения расхода электроэнергии и запаса хода на электротяге АТС категорий М₁ и N₁.

2.1.4.1. Измерение выбросов CO₂ и расхода топлива АТС

Выбросы CO₂ и потребление топлива измеряются в соответствии с процедурой испытания 1-го типа по Правилам ЕЭК ООН №83 (см. главу 2.2.5), включающей три режима движения: городской ездовой цикл, загородный ездовой цикл и комбинированный ездовой цикл.

Отбор проб ОГ начинается непосредственно во время процедуры запуска двигателя АТС и завершается по окончании последней фазы холостого хода в ездовом цикле.

В случае выбросов CO₂ результаты испытания должны быть выражены в г/км, округлённых для ближайшего целого числа.

Показатели расхода топлива рассчитываются при помощи **метода углеродного баланса** с использованием данных об измерении пробеговых выбросов CO_2 и других углеродосодержащих веществ (CO и HC). Результаты округляются до ближайшего десятичного знака.

Расход топлива рассчитывается по следующим формулам:

- для ДВСПВ, работающих на бензине (Е5)

$$FC = \frac{0,118}{D_{F0}} \cdot [(0,848 \cdot HC) + (0,429 \cdot CO) + (0,273 \cdot CO_2)]; \quad (17)$$

- для ДВСПВ, работающих на бензине (Е10)

$$FC = \frac{0,120}{D_{F0}} \cdot [(0,830 \cdot HC) + (0,429 \cdot CO) + (0,273 \cdot CO_2)]; \quad (18)$$

- для ДВСПВ, работающих на СУГ

$$FC = \frac{0,1212}{D_{F0}} \cdot [(0,825 \cdot HC) + (0,429 \cdot CO) + (0,273 \cdot CO_2)]; \quad (19)$$

- для ДВСПВ, работающих на ПГ или биометане

$$FC = \frac{0,1336}{D_{F0}} \cdot [(0,749 \cdot HC) + (0,429 \cdot CO) + (0,273 \cdot CO_2)]; \quad (20)$$

- для ДВСПВ, работающих на этаноле (Е85)

$$FC = \frac{0,1742}{D_{F0}} \cdot [(0,574 \cdot HC) + (0,429 \cdot CO) + (0,273 \cdot CO_2)]; \quad (21)$$

- для ДВСВС, работающих на ДТ (В5)

$$FC = \frac{0,116}{D_{F0}} \cdot [(0,861 \cdot HC) + (0,429 \cdot CO) + (0,273 \cdot CO_2)]; \quad (22)$$

- для ДВСВС, работающих на ДТ (В7)

$$FC = \frac{0,116}{D_{F0}} \cdot [(0,859 \cdot HC) + (0,429 \cdot CO) + (0,273 \cdot CO_2)]; \quad (23)$$

- для ДВСПВ, работающих на смеси ПГ и H_2

$$FC = \frac{910,4 \cdot A + 13600}{44,655 \cdot A^2 + 667,08 \cdot A} \cdot \left[\left(\frac{7,848 \cdot A}{9,104 \cdot A + 136} \cdot HC \right) + (0,429 \cdot CO) + (0,273 \cdot CO_2) \right]; \quad (24)$$

- для ДВСПВ, работающих на H_2

$$FC = 0,1 \cdot [(0,1119 \cdot H_2O) + H_2]; \quad (25)$$

- где FC – расход топлива, л/100 км (в случае бензина, СУГ, ДТ или биодизельного топлива), либо м³/100 км (в случае ПГ или биометана), либо кг/100 км (в случае водорода);
- D_{FO} – плотность топлива при эталонных¹ условиях
(для СУГ $D_{FO} = 0,538$ кг/л; для ПГ $D_{FO} = 0,654$ кг/м³;
для бензина $D_{FO} = 0,748...0,775$ кг/л;
для ДТ $D_{FO} = 0,835...0,845$ кг/л);
- A – доля ПГ/биометана в смеси ПГ и H₂, % по объёму;
- HC – пробеговые выбросы углеводородов, г/км;
- CO – пробеговые выбросы углерода оксида, г/км;
- CO_2 – пробеговые выбросы углерода диоксида, г/км;
- H_2O – пробеговые выбросы воды, г/км;
- H_2 – пробеговые выбросы водорода, г/км.

Двухтопливные (т.е. способные работать на двух видах топлива поочередно) и **гибкотопливные** (т.е. способные работать на смеси из двух топлив в произвольной пропорции) АТС испытываются поочередно с использованием обоих видов топлива. В итоговый протокол заносятся результаты, касающиеся обоих видов топлива.

2.1.4.2. Измерение расхода электроэнергии электромобилем или гибридным АТС

Для электромобилей измеряется расход электроэнергии. Испытания проводятся в комбинированном ездовом цикле. Результаты измерения расхода электроэнергии должны выражаться в ватт-часах на километр (Вт·ч/км), а запас хода – в километрах, причём оба показателя округляются до ближайшего целого числа.

Все имеющиеся системы аккумулирования энергии, за исключением энергии, используемой для тяги (электрические, гидравлические, пневматические и т.д.), должны иметь максимальный уровень заряда, указанный изготовителем.

Если аккумуляторы функционируют при температуре, превышающей температуру окружающего воздуха, то оператор должен придерживаться процедуры, которая рекомендуется изготовителем

¹ В данном случае используется значение плотности при 15 °С.

автомобиля для поддержания температуры аккумулятора в обычном диапазоне его эксплуатации.

АТС должно пройти не менее 300 км в течение семи дней до проведения испытания с теми аккумуляторами, которые устанавливаются на испытываемом транспортном средстве. Все испытания проводятся при температуре в пределах от 20 °С до 30 °С.

Процедура испытания состоит из следующих четырёх этапов:

- 1) первоначальная зарядка аккумулятора;
- 2) проведение испытаний, состоящих из двух комбинированных ездовых циклов;
- 3) контрольная зарядка аккумулятора;
- 4) расчёт расхода электроэнергии.

Процедура **первоначальной зарядки аккумулятора** начинается с его разрядки при движении АТС (на испытательном треке, на динамометрическом стенде и т.д.) при постоянной скорости, составляющей $70\pm 5\%$ от максимальной скорости движения АТС. Разрядка прекращается:

- когда транспортное средство не может двигаться в течение 30 минут со скоростью, равной 65% максимальной скорости движения; или
- когда в соответствии с показаниями штатных бортовых приборов водитель должен остановить транспортное средство; или
- после пробега 100 км.

После этого производится выдерживание при окружающей температуре воздуха от 20 °С до 30 °С (т.н. **кондиционирование**) и затем обычная процедура зарядки аккумулятора в течение 12 часов. Зарядка осуществляется:

- с помощью бортового зарядного устройства, если оно установлено,
- с помощью внешнего зарядного устройства, рекомендуемого изготовителем, причём в этом случае используется схема, предписанная для обычной зарядки,
- при окружающей температуре воздуха от 20 °С до 30 °С.

В течение следующих 4 часов после окончания первоначальной зарядки аккумулятора проводятся два комбинированных ездовых цикла.

В конце испытания регистрируется измеренное расстояние пробега L_{test} в км.

АТС подключается к электросети для **контрольной зарядки** аккумулятора в соответствии с обычной процедурой зарядки в течение 12 часов. С помощью оборудования для замера энергии, помещённого между электрическим разъёмом и зарядным устройством АТС, измеряется энергия заряда E , поступающая из электрической сети, а также продолжительность этого заряда (рис. 16).

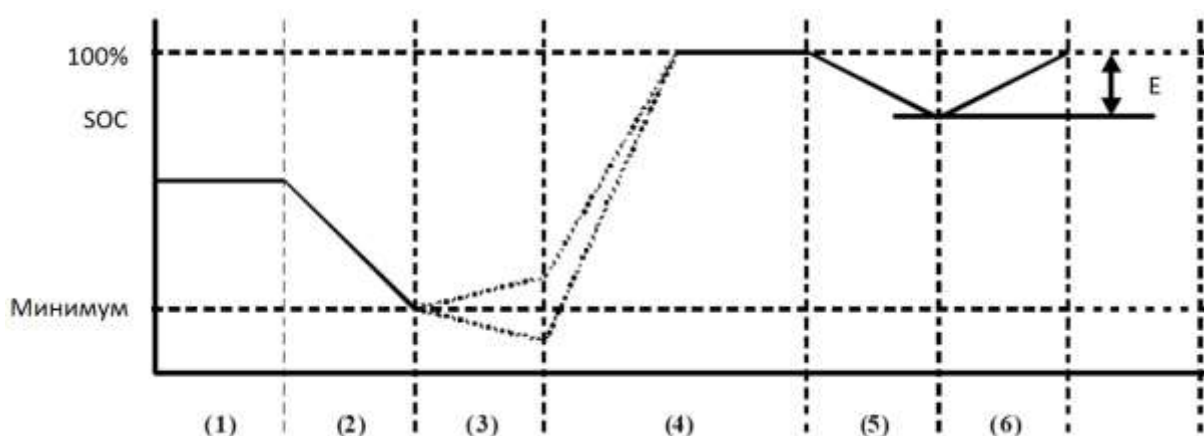


Рис. 16. Изменение степени зарядки (SOC) аккумуляторной батареи (АБ) электромобиля или гибридного АТС в ходе испытаний с соблюдением условия А (1 – исходное состояние заряда АБ; 2 – разрядка АБ; 3 – кондиционирование; 4 – обычная зарядка АБ в течение 12 ч; 5 – выполнение двух комбинированных ездовых циклов; 6 – контрольная зарядка АБ)

Расход электроэнергии определяется по формуле

$$EC = \frac{E}{L_{test}}, \quad (26)$$

где EC – расход электроэнергии, Вт·ч/км;

E – измеренная энергия заряда аккумулятора, Вт·ч;

L_{test} – измеренное расстояние пробега, км;

Гибридные электромобили¹ проходят два последовательных испытания при соблюдении одного из двух условий:

¹ Гибридные АТС кроме электрического дополнительного привода могут также иметь механический или гидропневматический дополнительный привод. Процедуры испытания таких АТС аналогичны гибридным электромобилям.

- **условие А** – испытание начинают при полностью заряженном накопительном устройстве электрической энергии (рис. 16);
- **условие В** – испытание начинают при минимальной степени зарядки (максимальной разрядке) накопительного устройства электрической энергии (рис. 17).

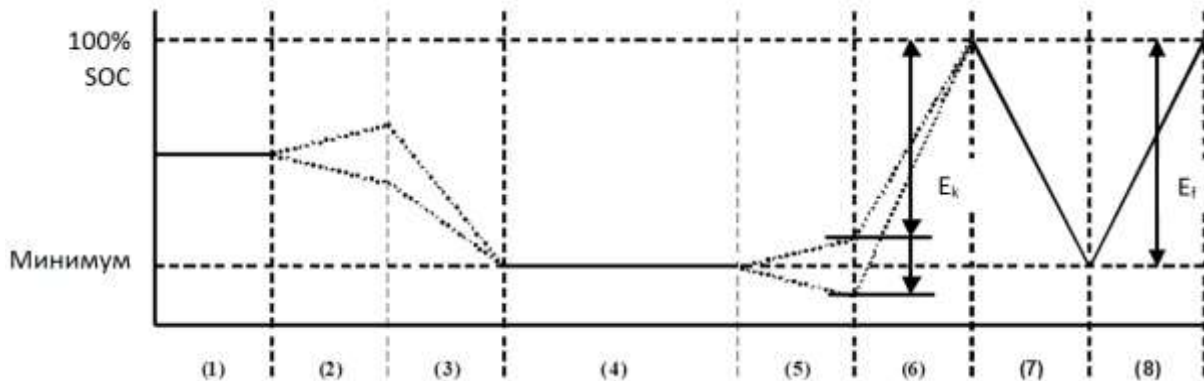


Рис. 17. Изменение степени зарядки (SOC) аккумуляторной батареи (АБ) гибридного АТС в ходе испытаний с соблюдением условия В (1 – исходное состояние заряда АБ; 2 – кондиционирование; 3 – разрядка АБ; 4 – кондиционирование; 5 – выполнение двух комбинированных ездовых циклов; 6 – контрольная зарядка АБ; 7 – разрядка АБ; 8 – полная зарядка АБ)

При испытаниях с соблюдением обоих условий определяют как выбросы CO_2 и расход топлива, так и потребление электроэнергии. Потребление электроэнергии при испытаниях с выполнением условия В определяется по формуле (26) при $E = E_k - E_f$, где E_k – контрольная энергия заряда (после проезда двух комбинированных ездовых циклов), E_f – полная энергия заряда (от минимального уровня до 100%). Как видно из рис. 17, потребление электроэнергии при испытаниях с выполнением условия В может быть как положительным (в случае продолжения разряда¹ АБ на этапе выполнения ездовых циклов), так и отрицательным (в случае осуществления зарядки² АБ на этапе выполнения ездовых циклов).

¹ В этом случае на ведущие колёса АТС поступает мощность как от ДВС, так и от электромотора.

² В этом случае мощность от ДВС поступает как на ведущие колёса, так и на зарядку АБ.

Средневзвешенные значения полученных величин рассчитываются по формуле

$$M = \frac{R_e \cdot M_A + R_{av} \cdot M_B}{R_e + R_{av}}, \quad (27)$$

где M – средние значения выбросов CO_2 , г/км, или расхода топлива, л/100 км, или потребления электроэнергии, Вт·ч/км;
 M_A – измеренные значения этих величин при условии А;
 M_B – измеренные значения этих величин при условии В;
 R_e – запас хода АТС на электротяге, км;
 R_{av} – предполагаемый средний пробег между двумя зарядками аккумулятора, $R_{av} = 25$ км.

2.1.4.3. Измерение запаса хода электромобиля или гибрида

Процедура испытания состоит из следующих этапов:

- 1) первоначальная зарядка аккумулятора;
- 2) проведение цикла испытания и измерение запаса хода на электротяге.

Процедура первоначальной зарядки аккумулятора аналогична описанной выше в предыдущей главе.

После этого осуществляется циклическое повторение комбинированного ездового цикла до тех пор, пока не станут выполняться критерии окончания испытания.

Считается, что критерии завершения испытания достигнуты, если АТС не может осуществлять движение в соответствии с графиком ездового цикла¹ (в диапазоне скорости до 50 км/ч) или если в соответствии с показаниями штатных бортовых приборов водитель должен остановить транспортное средство.

В этом случае водитель замедляет движение АТС до 5 км/ч, отпуская педаль акселератора, без использования педали тормоза, а затем останавливает АТС с помощью торможения.

¹ Если при скорости свыше 50 км/ч транспортное средство не достигает необходимого ускорения или скорости цикла испытания, то педаль акселератора остаётся в полностью выжатом положении до тех пор, пока не будут вновь достигнуты параметры графика ездового цикла.

В конце испытания измеренное значение пройденного расстояния R_e в километрах служит показателем запаса хода электромобиля. Это значение округляется до ближайшего целого числа.

2.2. Выбросы загрязняющих веществ

2.2.1. Правила ЕЭК ООН №24 (оценка дымности ОГ ДВСВС)

Правила ЕЭК ООН № 24 устанавливают процедуры испытаний и нормы содержания в ОГ ДВСВС «видимых загрязняющих веществ». Правила распространяются на ДВСВС, которые предназначены для установки на транспортных средствах категорий L, M и N.

Измерение выброса видимых ЗВ (**дымности**) производится:

- 1) на установившихся режимах работы,
- 2) на режиме «свободного ускорения».

Данные испытания могут проводиться либо на двигателе (моторном стенде), либо на транспортном средстве.

Эталонные атмосферные условия соответствуют варианту №1 (см. главу 1.2.3). Коэффициент учёта атмосферных условий α , вычисленный по формуле (15), должен находиться в пределах $0,98 \leq \alpha \leq 1,02$.

2.2.1.1. Измерение дымности ОГ на установившихся режимах работы ДВС

Согласно этому методу, испытание проводят на двигателе, работающем с полной подачей топлива (на внешней скоростной характеристике) в установившемся режиме. Проводится достаточное количество¹ измерений в диапазоне от минимальной до максимальной частоты вращения коленчатого вала двигателя. При этом обязательными являются режимы максимальной мощности и максимального крутящего момента.

На каждом режиме при помощи денситометра (дымомера) измеряют оптическую плотность ОГ, т.е. коэффициент поглощения света, проходящего через поток ОГ эталонной длины.

Для каждого режима рассчитывается номинальный расход ОГ по формуле

¹ Обычно 6 точек.

$$G = \frac{V \cdot n}{30 \cdot \tau}, \quad (28)$$

где G – номинальный расход ОГ, л/с;
 V – рабочий объём двигателя, л;
 n – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин⁻¹;
 τ – тактность двигателя (двух- или четырёхтактный).

Считается, что ДВС выдержал испытания (т.е. соответствует установленным требованиям), если измеренная оптическая плотность ОГ в каждой точке (режиме) не превышает предельных величин, установленных в зависимости от номинального расхода ОГ (рис. 18).

2.2.1.2. Измерение дымности ОГ в режиме «свободного ускорения» ДВС

Испытание в режиме «свободного ускорения» проводится сразу после испытания на установившихся режимах внешней скоростной характеристики.

Двигатель отключается от тормозной установки стенда, а при проведении испытания на АТС включается нейтральная передача в коробке передач и выжимается (включается) сцепление.

При работе двигателя в режиме холостого хода «быстрым, но не резким» нажатием на педаль газа устанавливается полная подача топлива, которая поддерживается до достижения коленчатым валом двигателя максимальной частоты вращения и включения регулятора. По достижении такой частоты вращения педаль газа отпускается до тех пор, пока частота вращения коленчатого вала двигателя не достигнет холостого хода. Данный процесс повторяется не менее 6 раз для того, чтобы очистить выхлопную систему и произвести в случае необходимости регулировку аппаратуры.

При каждом последовательном ускорении отмечаются максимальные значения коэффициента поглощения света. За измеренный коэффициент поглощения принимается среднее арифметическое последних 4 измерений¹.

¹ В случае их относительной устойчивости, т.е. если они располагаются в зоне шириной 0,25 м⁻¹ и не образуют убывающей последовательности.

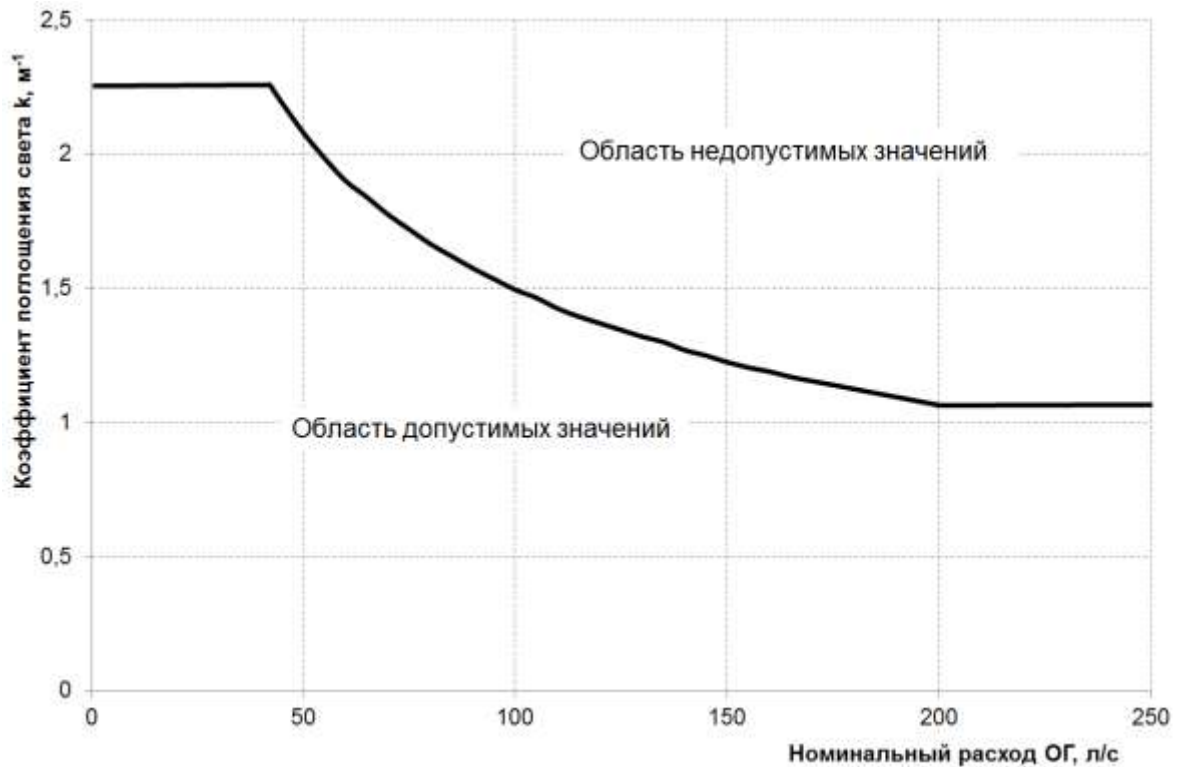


Рис. 18. Кривая предельно допустимых значений оптической плотности (дымности) ОГ ДВСВС согласно Правилам ЕЭК ООН №24

Считается, что ДВС выдержал испытания в случае, если измеренный коэффициент поглощения светового потока не превышает предельную величину, указанную для номинального режима ДВС (рис. 18). Под номинальным режимом понимается установившийся режим с полной подачей топлива при максимальной частоте вращения коленчатого вала двигателя.

Предельная величина коэффициента поглощения для двигателей с турбонаддувом, увеличивается на $0,5 \text{ м}^{-1}$.

2.2.1.3. Проверка соответствия производства

Необкатанный двигатель, случайно выбранный со склада готовой продукции завода-изготовителя, подвергается испытанию в режиме свободного ускорения. Считается, что ДВС выдержал испытания, если полученное значение коэффициента поглощения не превышает более чем на $0,5 \text{ м}^{-1}$ значение, указанное для номинального режима ДВС.

Если значение, полученное при испытании в режиме свободного ускорения, превышает более чем на $0,5 \text{ м}^{-1}$ значение, указанное для номинального режима ДВС, то двигатель подвергается испытанию в

установившихся режимах работы при полной нагрузке. При этом используются такие же нормы, что и для подготовленного к сертификации ДВС.

2.2.2. Правила ЕЭК ООН №40 (выбросы ЗВ с ОГ ДВСПВ двух- и трёхколёсных мотоциклов)

Правила ЕЭК ООН №40 устанавливают нормы и процедуры испытаний транспортных средств категорий L3, L4 и L5 (двух- и трёхколёсные мотоциклы) с установленными на них ДВСПВ относительно выбросов загрязняющих веществ с ОГ.

Эталонными атмосферными условиями являются условия, указанные в главе 1.2.3 по варианту №3.

Под «контрольной массой» подразумевается собственная масса мотоцикла плюс условная масса 75 кг.

В зависимости от своей категории мотоцикл подвергается испытаниям следующих двух типов:

- 1) испытание типа I – измерение пробеговых выбросов ЗВ с ОГ при движении в городском ездовом цикле (рис. 2);
- 2) испытание типа II – измерение концентрации углерода оксида (CO) при работе двигателя на холостом ходу.

2.2.2.1. Измерение пробеговых выбросов ЗВ с ОГ при движении в городском ездовом цикле

Мотоцикл устанавливается на динамометрическом стенде, оборудованном тормозом и маховиком.

Перед испытанием мотоцикл выдерживается при температуре 20...30 °С. После 40 с работы двигателя на холостом ходу включается вентилятор, обдувающий мотоцикл потоком воздуха регулируемой скорости, и выполняются два подготовительных городских ездовых цикла без отбора проб ОГ.

Испытание проводится без перерыва в течение 13 мин и состоит из четырёх городских циклов (см. рис. 2). Во время испытания ОГ разбавляются воздухом для получения постоянного объёмного расхода смеси (система CVS. См. главу 3.2.1.3.1). На протяжении всего испытания из полученной таким образом смеси отбираются пробы при постоянной

скорости потока и собираются в эластичную ёмкость (мешок) для последующего определения концентрации (средней по данному испытанию) углерода оксида (СО), несгоревших углеводородов (ТНС), оксидов¹ азота (NO_x) и углерода диоксида (СО₂). Также отбираются пробы воздуха, который используется для разбавления ОГ.

Анализ проб начинают сразу же после окончания испытаний. В ходе анализа определяются концентрации указанных ЗВ как в пробе разбавленных ОГ, так и в пробе разбавляющего воздуха.

Пробеговые выбросы ЗВ определяются по формулам (29)...(32).

$$E_{ЗВ} = \frac{C_{ЗВ} \cdot k_H \cdot D_{ЗВ} \cdot V_{ОГ}}{L \cdot 10^6}, \quad (29)$$

где $E_{ЗВ}$ – пробеговые выбросы ЗВ, г/км;

$C_{ЗВ}$ – объёмная концентрация ЗВ в разбавленных ОГ с учётом поправки на загрязнённость разбавляющего воздуха, млн⁻¹;

k_H – поправочный коэффициент, учитывающий влажность, применяется только для NO_x;

$D_{ЗВ}$ – плотность ЗВ при эталонных условиях. $D_{CO} = 1,25 \text{ кг/м}^3$;
 $D_{ТНС}^2 = 0,619 \text{ кг/м}^3$; $D_{NOx}^3 = 2,05 \text{ кг/м}^3$;

$V_{ОГ}$ – суммарный объём разбавленных ОГ, приведённый к эталонным условиям, м³/испытание;

L – расстояние, пройденное транспортным средством за испытание, км.

$$C_{ЗВ} = C_{ЗВ_{ОГ}} - C_{ЗВ_{В}} \cdot \left(1 - \frac{1}{DF}\right), \quad (30)$$

где $C_{ЗВ_{ОГ}}$ – концентрация ЗВ в пробе разбавленных ОГ, млн⁻¹;

$C_{ЗВ_{В}}$ – концентрация ЗВ в пробе разбавляющего воздуха, млн⁻¹;

DF – коэффициент разбавления ОГ чистым воздухом.

$$DF = \frac{14,5}{C_{CO_2} + 0,5 \cdot C_{CO} + C_{ТНС}}, \quad (31)$$

где C_{CO_2} – концентрация СО₂ в пробе разбавленных ОГ, % об.;

C_{CO} – концентрация СО в пробе разбавленных ОГ, % об.;

¹ Пробеговые выбросы NO_x не нормируются, а определяются лишь для информационных целей;

² При среднем отношении углерод/водород, равном 1 : 1,85.

³ В предположении, что NO_x находятся в виде NO₂.

C_{THC} – концентрация THC в пробе разбавленных ОГ, % об.

$$k_H = \frac{1}{1 - 0,0329 \cdot (H - 10,7)}, \quad (32)$$

где H – массовая концентрация влаги в атмосферном воздухе, в граммах воды на килограмм сухого воздуха.

Предельно допустимые величины пробеговых выбросов 3В мотоциклов указаны в прил. 1.

2.2.2.2. Измерение концентрации CO при работе двигателя на холостом ходу

Объёмное содержание углерода оксида (CO) и углерода диоксида (CO₂) в неразбавленных ОГ замеряется сразу же после испытания типа I при работе двигателя в режиме холостого хода.

Пробоотборник, используемый для забора ОГ, вставляется в выхлопной патрубок на глубину не менее 60 см, чтобы избежать разбавления ОГ внешним воздухом. Если выхлопная система мотоцикла имеет несколько выхлопных патрубков, то либо эти патрубки соединяются общей трубой, либо содержание CO замеряется отдельно в каждом патрубке и берётся среднее арифметическое этих замеров.

Скорректированная концентрация $C_{CO_{корр}}$ вычисляется по формуле

для двухтактных ДВСПВ
$$C_{CO_{корр}} = C_{CO} \cdot \frac{10}{C_{CO} + C_{CO_2}}, \quad (33)$$

для четырёхтактных ДВСПВ
$$C_{CO_{корр}} = C_{CO} \cdot \frac{15}{C_{CO} + C_{CO_2}},$$

где $C_{CO_{корр}}$ – скорректированная концентрация CO, % об.;

C_{CO} – измеренная концентрация CO, % об.;

C_{CO_2} – измеренная концентрация CO₂, % об.

Величина $CO_{корр}$ не должна превышать 4,5% по объёму.

2.2.3. Правила ЕЭК ООН №47 (выбросы 3В с ОГ ДВСПВ мопедов)

Правила ЕЭК ООН №47 устанавливают нормы и процедуры испытаний транспортных средств категорий L1 и L2 (мопеды) с установленными на них ДВСПВ относительно выбросов загрязняющих веществ с ОГ.

В зависимости от своей категории мопед подвергается испытаниям следующих двух типов:

- 1) испытание типа I – измерение пробеговых выбросов ЗВ с ОГ при движении в городском ездовом цикле для мопедов (рис. 4);
- 2) испытание типа II – измерение массы выбросов ЗВ за одну минуту при работе двигателя на холостом ходу.

2.2.3.1. Измерение пробеговых выбросов ЗВ с ОГ при движении в городском ездовом цикле для мопедов

Процедура испытаний для определения пробеговых выбросов ЗВ мопедов аналогична процедуре Правил ЕЭК ООН №40 (для мотоциклов) за исключением использования особого городского ездового цикла для мопедов (рис. 4).

Пробеговые выбросы ЗВ определяются по формулам (29)...(32).

Предельно допустимые величины пробеговых выбросов ЗВ мопедов указаны в прил. 1.

2.2.3.2. Измерение массы выбросов ЗВ за одну минуту при работе двигателя на холостом ходу

Выделяемая масса СО и СН измеряется сразу же после испытаний типа I при работе двигателя в режиме холостого хода.

Масса ЗВ, выделяющаяся за одну минуту, (г/мин), определяется по формулам (29)...(32), в которые вместо пройденного расстояния L следует подставить время измерений t , мин.

Определённые значения выбросов ЗВ не нормируются, а используются лишь в информационных целях.

2.2.4. Правила ЕЭК ООН №49 (выбросы ЗВ с ОГ ДВС для большегрузных АТС)

Правила ЕЭК ООН №49 устанавливают нормы и процедуры испытаний двигателей, предназначенных для установки на АТС категорий M_1 , M_2 , N_1 и N_2 , контрольная масса которых превышает 2610 кг¹, и на АТС категорий M_3 и N_3 относительно выбросов

¹ К АТС указанных категорий, контрольная масса которых не превышает 2610 кг, применяются Правила № 83.

загрязняющих веществ с ОГ. Правила применимы к ДВСВС, работающих на дизельном топливе или этаноле, и ДВСПВ, работающих на бензине¹, природном газе или СУГ.

Контрольная масса в данных Правилах определяется как сумма собственной массы АТС и условной массы, равной 100 кг.

Правила №49 предусматривают несколько испытательных процедур:

- 1) **определение удельных выбросов** газообразных ЗВ и дисперсных частиц на установившихся (цикл ESC или WHSC, начиная с Пересмотра №6) и неуставившихся (цикл ETC или WHTC, начиная с Пересмотра №6) режимах – для ДВСВС и газовых² ДВСПВ;
- 2) **определение дымности ОГ** на неуставившихся режимах (цикл ELR) – только для ДВСВС;
- 3) **проверка долговечности систем снижения токсичности двигателя (ССТД)** – для ДВСВС и газовых ДВСПВ;
- 4) **проверка соответствия эксплуатационным требованиям** – для ДВСВС и газовых ДВСПВ;
- 5) **проверка работоспособности бортовой диагностической системы (БДС)** – для ДВСВС и газовых³ ДВСПВ, начиная с Пересмотра №5;
- 6) **проверка соответствия производства** – для ДВСВС и газовых ДВСПВ;
- 7) **испытания для проверки соответствия уровня выбросов ЗВ в произвольном цикле испытаний** – для ДВСВС и газовых ДВСПВ, начиная с Пересмотра №6.

Также не должно происходить выброса картерных газов непосредственно в окружающую среду, за исключением двигателей, оснащённых системами наддува, которые могут выбрасывать картерные газы в окружающую среду, если величина этих выбросов прибавляется к

¹ Начиная с Пересмотра №6.

² Дисперсные частицы для газовых ДВСПВ нормируются, начиная с уровня норм «С», т.е. для «экологически чистых транспортных средств».

³ Для газовых ДВСПВ требования к БДС установлены только для уровней норм «В2» и «С» (см. прил. 1).

величине выбросов с ОГ (как физически, так и математически) в ходе всех испытаний.

2.2.4.1. Испытания для определения удельных выбросов загрязняющих веществ

Обычные дизельные двигатели, в том числе оснащённые оборудованием для электронного впрыска топлива, системой рециркуляции ОГ и окислительным нейтрализатором, должны подвергаться испытаниям ESC и ELR. Дизельные двигатели, оснащённые усовершенствованными системами очистки ОГ, включая нейтрализаторы для удаления NO_x или сажевые фильтры, должны дополнительно подвергаться испытаниям ETC (в пересмотре №6 установлена глобально гармонизированная процедура WHTC).

Газовые двигатели должны подвергаться испытаниям ETC (в пересмотре №6 установлена глобально гармонизированная процедура WHTC).

Значения удельных выбросов ЗВ, определяемые по результатам испытаний, не должны превышать предельных значений, указанных в прил. 1. Кроме того, в случае наличия системы очистки ОГ ДВС/С SCR, требующей¹ использования реагента на основе мочевины (AdBlue), средняя концентрация аммиака (NH_3) на протяжении цикла испытаний на выбросы не должна превышать 25 млн^{-1} (10 млн^{-1} в Пересмотре № 6). Среднюю концентрацию NH_3 ($\text{млн}^{-1}/\text{испытание}$) определяют методом суммирования мгновенных значений в течение всего цикла.

Эталонные атмосферные условия принимаются согласно варианта №1 (см. главу 1.2.3).

2.2.4.1.1. Процедура испытаний ESC (европейский установившийся цикл)

Сущность процедуры испытаний ESC состоит в следующем.

Двигатель устанавливается на испытательный динамометрический стенд. Система измерения частоты вращения должна обеспечивать точность считывания показаний с погрешностью $\pm 2\%$. Система измерения крутящего момента должна обеспечивать точность считывания показаний с погрешностью $\pm 3\%$.

¹ В инструкции должно быть указано, что использование требуемого реагента является обязательным условием нормальной эксплуатации ДВС.

Подготавливается система отбора проб (без разбавления или с разбавлением потока ОГ чистым воздухом) и газоанализаторы. В случае разбавления потока ОГ воздухом необходимо отрегулировать систему таким образом, чтобы температура разбавленных ОГ, измеренная непосредственно перед фильтром для измерения дисперсных частиц, не превышала 325 К (52 °С) в любом режиме. Коэффициент разбавления при этом должен составлять не менее 4. Газоанализаторы устанавливаются на ноль, и задаётся их диапазон измерений.

Производится пуск и прогрев (на режиме полной мощности до стабилизации температурных и других показателей) двигателя и системы отбора проб в байпасном (минуя газоанализаторы) режиме.

Одновременно включаются все измерительные приборы и последовательно воспроизводятся 13 установившихся режимов цикла ESC (см. главу 1.2.5.1 и рис. 7). На каждом режиме двигатель должен проработать отведённое время (2 мин), чтобы стабилизировались (установились) газодинамические и температурные показатели работы ДВС.

Показания газоанализаторов регистрируют с помощью системы непрерывного сбора данных при прохождении потока ОГ через газоанализаторы на протяжении всего испытательного цикла. На каждом режиме измеряют концентрации CO, THC, CH₄, NMHC, NO_x. Кроме того, в качестве индикаторного газа¹ для определения коэффициента разбавления в системах частичного и полного разбавления потока ОГ рекомендуется² измерять концентрацию CO₂.

Для оценки концентрации газообразных ЗВ показания газоанализаторов за последние 30 секунд работы двигателя в каждом режиме усредняют.

Для определения массы дисперсных частиц используют единый аналитический фильтр для всех 13 режимов. Регулируя расход потока ОГ

¹ Весь углерод, содержащийся в ОГ, за исключением очень незначительной части, образуется из топлива, и весь он, за исключением минимальной доли, поступает в ОГ в виде CO₂. Этот факт и положен в основу системы проверки методом замеров CO₂.

² В Пересмотре №6 определение удельных выбросов CO₂ стало обязательным.

при отборе пробы, время отбора проб и/или коэффициент разбавления, добиваются соблюдения весовых коэффициентов для каждого из 13 режимов испытательного цикла.

В процессе выполнения каждого режима регистрируют частоту вращения двигателя и крутящий момент, температуру, влажность и давление воздуха на впуске, температуру и противодавление отработавших газов, расход топлива и расход воздуха или отработавших газов, температуру топлива и другие необходимые параметры.

После выполнения испытательного цикла проводят три дополнительных измерения концентрации NO_x на режимах, назначаемых органом по сертификации из контрольной области¹. Значения удельных выбросов NO_x , измеренные в произвольно выбранных точках проверки в пределах контрольной области в ходе испытания ESC, не должны превышать более чем на 10% значения, интерполированные на основе смежных режимов испытаний.

По завершении цикла испытания проводят повторную поверку газоанализаторов с использованием нулевого и поверочного газа. Испытание считается приемлемым, если расхождение между результатами, полученными до и после испытания, составляет менее 2% значения, полученного для поверочного газа.

Производится расчёт величины удельных выбросов каждого измеряемого газообразного загрязняющего вещества (REM , г/кВт·ч) по формуле

$$REM = \frac{\sum_{i=1}^{13} (M_i \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^{13} (P_i \cdot WF_i)} \quad (34)$$

где M_i – массовый выброс ЗВ на i -м режиме, г/ч;

P_i – эффективная мощность, развиваемая двигателем на i -м режиме, кВт;

WF_i – коэффициент весомости i -го режима.

В данной формуле массовый выброс ЗВ (M , г/ч) рассчитывают следующим образом

¹ Контрольная область – область режимов работы ДВС между частотами вращения А и С и в диапазоне между 25-процентной и 100-процентной нагрузкой.

$$M = u \cdot C \cdot Q, \quad (35)$$

- где u – отношение плотности загрязняющего вещества к плотности отработавших газов (или к плотности воздуха для случая разбавленных ОГ);
- C – концентрация соответствующего ЗВ в неразбавленных ОГ (или скорректированная по фону концентрация соответствующего ЗВ в разбавленных ОГ), млн^{-1} ;
- Q – массовый расход неразбавленных ОГ (или разбавленных ОГ), кг/ч .

Измеренную концентрацию ЗВ, если она не была уже измерена на влажной основе, преобразуют в концентрацию во влажном состоянии.

Поскольку выбросы NO_x зависят от внешних атмосферных условий, концентрацию NO_x корректируют на температуру и влажность окружающего воздуха.

Массовый расход отработавших газов Q определяют либо посредством непосредственного измерения, либо посредством расчёта.

Для оценки удельных выбросов дисперсных частиц вместо числителя в формуле (34) подставляют суммарную массу дисперсных частиц, осевших на аналитическом фильтре за весь испытательный цикл.

2.2.4.1.2. Процедура испытаний ЕТС (европейский неустановившийся цикл)

Суть процедуры испытаний ЕТС состоит в следующем.

Двигатель устанавливается на испытательный динамометрический стенд.

Определяется кривая крутящего момента при полной подаче топлива (внешняя скоростная характеристика).

Пересчитывается график изменения частоты вращения и нагрузки из относительных величин (% от максимально возможных) в абсолютные (мин^{-1} и $\text{Н}\cdot\text{м}$ соответственно) для конкретного двигателя (см. главу 1.2.5.3 и рис. 9).

Подготавливается система отбора проб (с разбавлением потока ОГ чистым воздухом) и газоанализаторы.

Производится пуск и прогрев (на режиме полной мощности до стабилизации температурных и других показателей) двигателя и системы отбора проб в байпасном (минуя газоанализаторы) режиме.

Поток отработавших газов, проходящих через систему разбавления

(с разбавлением полного или частичного потока ОГ), нужно отрегулировать таким образом, чтобы исключить возможность конденсации воды в системе и обеспечить максимальную температуру на поверхности аналитического фильтра не более 325 К (52 °С).

Газоанализаторы устанавливают на ноль и задают их диапазон измерений.

Прогретый двигатель запускают в соответствии с рекомендованной изготовителем процедурой запуска, изложенной в руководстве по эксплуатации, с использованием либо серийного стартера, либо динамометра.

Последовательность этапов испытания начинают выполнять после того, как двигатель перейдёт в режим холостого хода.

Одновременно включают все измерительные приборы и воспроизводят испытательный цикл переходных (неустановившихся) режимов ЕТС (см. главу 1.2.5.3 и рис. 9). Частота выдачи команд на установку частоты вращения и крутящего момента двигателя составляет не менее 5 Гц (рекомендуется 10 Гц). Данные обратной связи о фактической частоте вращения и крутящем моменте двигателя регистрируют не реже одного раза в секунду на протяжении всего испытательного цикла.

Во время испытания производят непрерывные измерения¹ концентрации CO, THC, NMHC, NO_x, массового расхода топлива и воздуха, необходимых температур а также действительных значений крутящего момента и частоты вращения. Кроме того, в качестве индикаторного газа для определения коэффициента разбавления в системах частичного и полного разбавления потока ОГ рекомендуется измерять CO₂.

Средние значения концентраций определяют путём интегрирования сигналов анализатора на протяжении испытательного цикла.

Концентрации газообразных ЗВ в разбавителе (воздухе) определяют методом интегрирования мгновенных значений или

¹ Средние за испытание концентрации CO, CO₂ и NMHC можно определять посредством пропорционального отбора ОГ в специальные пластиковые мешки, из которых после завершения испытательного цикла отбирается проба для газового анализа.

определением средних концентраций в пробах, накопленных в мешке для фоновых ЗВ.

Для определения массы дисперсных частиц (ДЧ) при запуске двигателя или в начале последовательности испытаний систему отбора проб ДЧ переключают с байпасной схемы на режим накопления ДЧ на аналитическом фильтре. Система должна быть сконструирована таким образом, чтобы обеспечивался отбор репрезентативных проб ДЧ пропорционально массовому расходу ОГ. Все другие величины, подлежащие измерению, регистрируют не реже одного раза в секунду.

По завершении испытательного цикла измерение объёма разбавленных ОГ или расхода первичных ОГ и потока газа, направляемого в накопительные мешки, прекращают и останавливают насос для отбора проб дисперсных частиц. В случае работы газоанализаторов по интегрирующей схеме, отбор проб продолжают до момента времени срабатывания системы, чтобы компенсировать запаздывание сигналов.

Концентрации ЗВ в накопительных мешках, если таковые используются, подвергают анализу как можно быстрее, но в любом случае не позднее чем через 20 минут после завершения цикла.

Если концентрация ЗВ измеряется на сухой основе, то она должна быть преобразована в концентрацию во влажном состоянии. Поскольку выбросы NO_x зависят от внешних атмосферных условий, концентрация NO_x должна быть скорректирована на температуру и влажность окружающего воздуха.

Для получения значений концентраций ЗВ в ОГ среднюю фоновую концентрацию газообразных ЗВ в разбавителе (воздухе) вычитают из измеренных концентраций.

Для оценки массы ДЧ регистрируют суммарную массу проб, прошедших через аналитический фильтр за весь испытательный цикл. Для этого измеряют общую массу заполненного фильтра (после испытания), из которой вычитают массу чистого фильтра (до испытания).

Проводят повторную проверку анализаторов с помощью нулевого газа и того же самого поверочного газа. Испытание считается приемлемым, если расхождение между результатами до и после испытания составляет менее 2% от значений, полученных для поверочного газа.

Записанные в ходе испытательного цикла графики измерения частоты вращения и крутящего момента (фактические) статистически¹ сопоставляют с заданными графиками, чтобы удостовериться в правильности выполнения цикла. Кроме этого, рассчитывают значение фактической работы, совершённой двигателем за испытательный цикл. Эта значение должно находиться в диапазоне от -15% до +5% от теоретической работы, определяемой по заданному графику испытательного цикла.

После выполнения испытательного цикла определяют расход первичных или разбавленных ОГ, а также произведённую двигателем работу за цикл и проводят обработку результатов для определения значений удельных выбросов ЗВ. Удельные выбросы каждого учитываемого ЗВ рассчитываются по формуле

$$REM = \frac{M}{W}, \quad (36)$$

где M – масса загрязняющего вещества, выброшенная с ОГ двигателя за испытательный цикл, г;

W – фактическая работа, совершённая двигателем за испытательный цикл, кВт·ч.

Массу выбросов ЗВ за цикл M рассчитывают в зависимости от используемого метода измерения – с разбавлением или без разбавления потока ОГ.

В случае наличия у испытуемого ДВС системы очистки ОГ с **непрерывной регенерацией**², для подтверждения правильности процесса регенерации проводят не менее пяти испытаний ЕТС. Конечный результат испытания представляет собой среднее арифметическое значений, полученных по итогам пяти испытаний ЕТС.

В случае наличия у испытуемого ДВС системы очистки ОГ с **периодической регенерацией**³ (рис. 19), замер выбросов производят в ходе не менее двух испытаний ЕТС (одного – в процессе регенерации и одного – вне этого процесса) на стабилизированной системе очистки ОГ,

¹ На основе регрессионного анализа.

² Процесс регенерации происходит не менее одного раза в ходе испытания ЕТС.

³ Процесс регенерации происходит реже, чем длится испытание ЕТС.

а в качестве окончательного результата принимают средневзвешенное по времени значение. Во время процесса регенерации предельные значения выбросов, указанные в прил. 1, могут быть превышены.

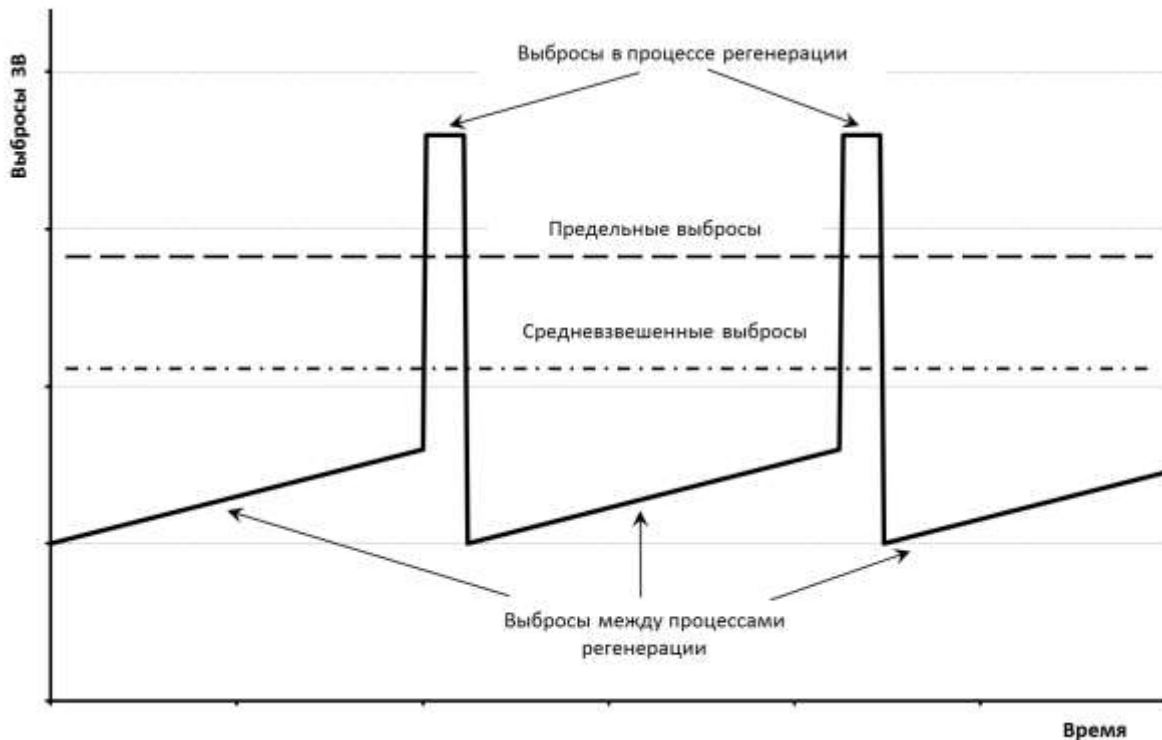


Рис. 19. Схема возможного изменения выбросов ЗВ для ССТД с периодической регенерацией

Двухтопливные ДВСВС (газодизели) испытывают при работе как в двухтопливном режиме, так и в дизельном режиме¹.

Для двухтопливных двигателей, испытываемых по циклу ЕТС, при работе в двухтопливном режиме предельные значения углеводородов определяются следующим образом.

Рассчитывают средний коэффициент использования газа $\text{ГЭК}_{\text{ЕТС}}$ на протяжении испытательного цикла ЕТС. Газоэнергетический коэффициент (ГЭК) означает отношение энергоёмкости газообразного топлива к энергоёмкости обоих видов топлива (дизельного и газообразного), израсходованных при выполнении испытательного цикла.

¹ За исключением ДВС, предназначенных для работы только в двухтопливном режиме.

Рассчитывают показатель $THC_{ГЭК}$ в г/кВт·ч по следующей формуле

$$THC_{ГЭК} = NMHC_{ПГ} + (CH_{4ПГ} \cdot ГЭК_{ЕТС}), \quad (37)$$

где $NMHC_{ПГ}$ – предельное значение выбросов NMHC в ходе испытательного цикла ЕТС, применимое к двигателям, работающим на ПГ, г/кВт·ч;

$CH_{4ПГ}$ – предельное значение выбросов CH_4 в ходе испытательного цикла ЕТС, применимое к двигателям, работающим на ПГ, г/кВт·ч.

Если $THC_{ГЭК} \leq CH_{4ПГ}$, то

а) предельное значение $THC = THC_{ГЭК}$ и

б) предельные значения CH_4 и NMHC не применяются.

Если $THC_{ГЭК} > CH_{4ПГ}$, то

а) предельное значение THC не применяется и

б) применяются предельные значения как $NMHC_{ПГ}$, так и $CH_{4ПГ}$.

2.2.4.1.3. Процедура испытаний WHSC (всемирно гармонизированный установленный цикл)

Процедура WHSC аналогична процедуре ESC за исключением режимов работы ДВС (см. главу 1.5.2.4 и рис. 12).

Газообразные ЗВ можно регистрировать непрерывно с последующим интегрированием или отбирать в мешок для отбора проб. Проба ДЧ разбавляется кондиционированным разбавителем (таким как окружающий воздух). В течение всей процедуры испытания отбирается одна проба ДЧ, которая собирается на одном аналитическом фильтре.

Расчёт удельных выбросов производится по формуле (36).

2.2.4.1.4. Процедура испытаний WHTC (всемирно гармонизированный неустановившийся цикл)

Процедура WHTC аналогична процедуре ЕТС за исключением режимов работы ДВС (см. главу 1.5.2.5 и рис. 13).

Кроме того, процедура WHTC состоит из двух этапов:

- испытание на выбросы ЗВ с ОГ в условиях запуска холодного двигателя;
- испытание на выбросы ЗВ с ОГ в условиях прогретого двигателя.

Испытание с запуском холодного двигателя начинают при температуре смазочного масла и охлаждающей жидкости двигателя и ССТД в пределах 293...303 К (20...30 °С).

Сразу же после завершения испытания с запуском ДВС в холодном состоянии двигатель готовят к испытанию с запуском в прогретом состоянии методом прогрева в течение 10 ± 1 минут.

Газообразные ЗВ можно регистрировать непрерывно с последующим интегрированием или отбирать в мешок для отбора проб. Проба ДЧ разбавляется кондиционированным разбавителем (таким как окружающий воздух). В течение всей процедуры испытания отбирается одна проба ДЧ, которая собирается на одном аналитическом фильтре.

Для расчёта удельных выбросов фактическая работа за цикл рассчитывается путём интегрирования фактической мощности двигателя в течение всего цикла.

Расчёт удельных выбросов (г/кВт·ч) по каждому отдельному ЗВ осуществляют в соответствии со следующим уравнением

$$\text{REM} = \frac{0,14 \cdot M_{\text{cold}} + 0,86 \cdot M_{\text{hot}}}{0,14 \cdot W_{\text{cold}} + 0,86 \cdot W_{\text{hot}}}, \quad (38)$$

где M_{cold} – масса ЗВ, выброшенная с ОГ ДВС за испытательный цикл в условиях запуска холодного двигателя, г;

M_{hot} – масса ЗВ, выброшенная с ОГ ДВС за испытательный цикл в условиях прогретого двигателя, г;

W_{cold} – фактическая работа, совершённая ДВС за испытательный цикл в условиях запуска холодного двигателя, кВт·ч;

W_{hot} – фактическая работа, совершённая ДВС за испытательный цикл в условиях прогретого двигателя, кВт·ч.

2.2.4.2. Испытания для определения дымности ОГ

2.2.4.2.1. Процедура испытаний ELR

Суть процедуры испытаний ELR состоит в следующем.

ДВС устанавливается на испытательный динамометрический стенд.

Дымомер и пробоотборники, если таковые используются, устанавливают за глушителем или за устройством очистки ОГ в соответствии с инструкциями его изготовителя.

Дымомер прогревают и проводят калибровку на нулевой отметке и на полной шкале, поскольку шкала дымности обеспечивает лишь две достоверно определяемые калибровочные точки, а именно 0% дымности и 100% дымности. При отсутствии препятствий для прохождения светового луча через дымомер показание шкалы должно быть

отрегулировано на $0,0\% \pm 1,0\%$ дымности. Если же световой луч не попадает на светоприёмник, то показание шкалы должно быть отрегулировано на $100,0\% \pm 1,0\%$ дымности.

Дымность измеряют дымомером, работающим как в режиме регистрации значений **дымности**, так и в режиме считывания **коэффициента светопоглощения**. Первый режим применяют только для калибровки и проверки дымомера. Показания же дымности в испытательном цикле определяют по результатам измерений коэффициента светопоглощения.

После одновременного включения всех регистрирующих приборов воспроизводится последовательность ступенчатого изменения частоты вращения и нагрузки (см. главу 1.2.5.2 и рис. 8).

Измерения дымности проводят с частотой не менее 20 Гц. Данные по дымности, измеряемые в течение испытательной процедуры, статистически обрабатываются¹, и определяются средние значения дымности ОГ на каждом из трёх частей цикла ELR – SV_A , SV_B и SV_C . Окончательное значение дымности рассчитывают следующим образом:

$$SV = (0,43 \cdot SV_A) + (0,56 \cdot SV_B) + (0,01 \cdot SV_C).$$

Значение дымности при произвольно выбранной частоте вращения в ходе испытания ELR не должно превышать более чем на 20% наибольшее из значений дымности, полученных в ходе испытания при двух смежных частотах вращения, либо более чем на 5% предельное значение дымности в зависимости от того, какое из них больше.

2.2.4.3. Испытания для проверки долговечности ССТД

Начиная с Пересмотра №5 Правил ЕЭК ООН №49, изготовитель на основании проведения ресурсных испытаний должен продемонстрировать, что ДВС будет соответствовать предельным значениям выбросов ЗВ на протяжении срока эксплуатации, составляющего от 100 до 500 тыс. км (от 160 до 700 тыс. км, начиная с Пересмотра №6)² в зависимости от категории АТС, на которое предполагается устанавливать данный двигатель.

¹ Для расчёта средних значений дымности используют алгоритм Бесселя, который выполняет функцию фильтра низких частот второго порядка.

² Или от 5 до 7 лет, в зависимости от того, что наступает раньше.

При этом изготовитель должен подготовить исчерпывающую инструкцию о техническом обслуживании всех элементов ССТД, включая в соответствующих случаях использование потребляемых реагентов, и обеспечить, чтобы она была доступна конечным пользователям АТС.

Ресурсные испытания могут проводиться или на АТС с установленным на нём испытуемым двигателем или на динамометрическом моторном стенде¹. В начале ресурсных испытаний определяются удельные выбросы ЗВ в испытательных циклах ESC и ETC (WHTC, начиная с Пересмотра №6). Эти испытательные процедуры повторяются через определённый пробег достаточное количество раз вплоть до достижения максимально установленного пробега. Результаты определения пробеговых выбросов ЗВ заносятся в журнал испытаний.

В процессе выполнения ресурсных испытаний техническое обслуживание двигателя проводится в соответствии с рекомендациями изготовителя, занесёнными в инструкцию по эксплуатации.

На основе всех результатов, занесённых в журнал испытаний, проводится регрессионный анализ с использованием «наиболее подходящих» уравнений по каждому ЗВ.

По итогам регрессионного анализа изготовитель методом экстраполяции регрессионного уравнения рассчитывает предполагаемые значения выбросов для каждого ЗВ в начале и конце расчётного периода эксплуатации (например, для нулевого пробега в начале и 500 тыс. км в конце). По полученным значениям выбросов каждого ЗВ рассчитывают соответствующий «**показатель ухудшения**» (англ. *Deterioration Factor, DF*) (рис. 20).

Для двигателей, **не оснащённых** системой очистки ОГ, показатель ухудшения DF представляет собой **разность** между предполагаемыми значениями выбросов в начале и конце расчётного периода эксплуатации (т.н. **аддитивный DF**).

Для двигателей, **оснащённых** системой очистки ОГ, показатель ухудшения представляет собой **отношение** предполагаемых значений выбросов в начале и конце расчётного периода эксплуатации (т.н. **мультипликативный DF**).

¹ При этом должна быть установлена корреляция между временем работы ДВС на стенде и пробегом АТС.

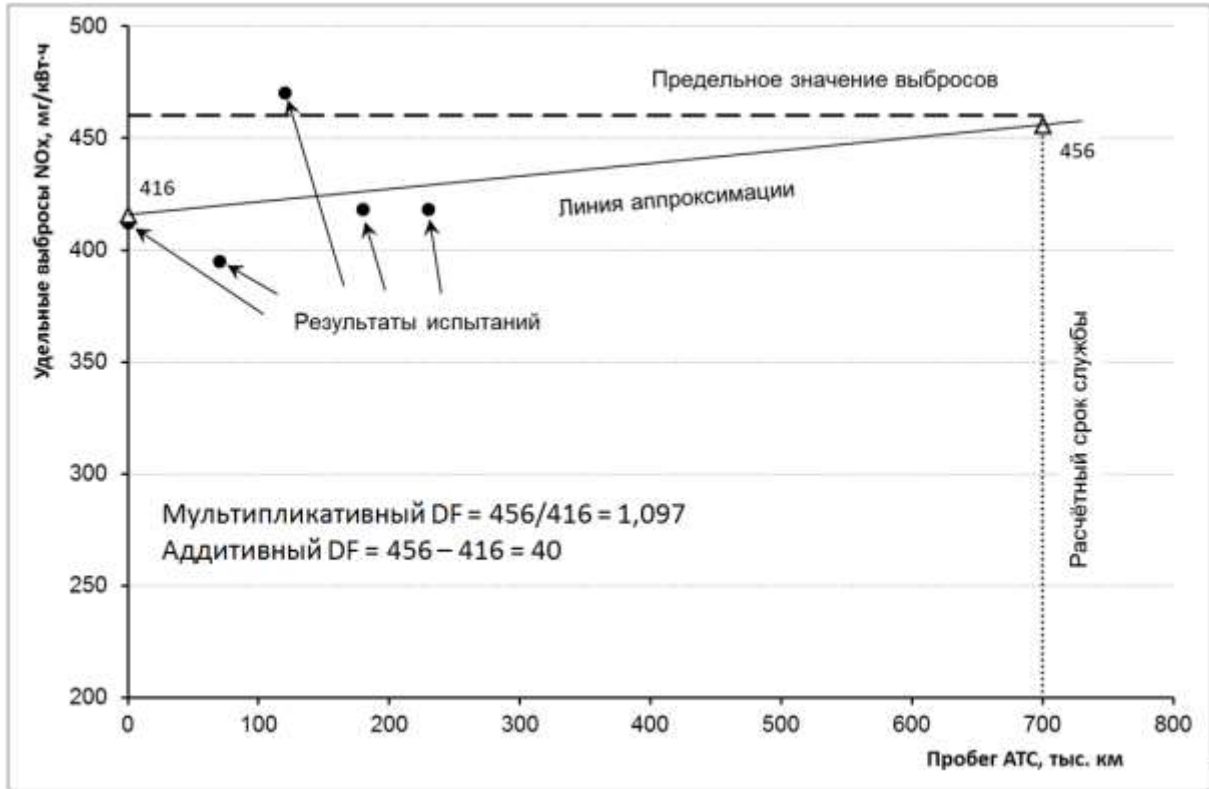


Рис. 20. Схема определения показателей ухудшения

Рассчитанные показатели ухудшения заносятся в итоговую сертификационную документацию.

В качестве альтернативы выполнению ресурсных испытаний для определения показателей ухудшения изготовители двигателя могут отдать предпочтение использованию показателей ухудшения, представленных в табл. 3. (Пересмотр №5) или табл. 4 (Пересмотр №6). По сути это означает, что значения удельных выбросов ЗВ двигателя с нулевым пробегом должны быть меньше предельных значений, разделённых на соответствующие показатели ухудшения.

Таблица 3

Показатели ухудшения выбросов ЗВ в процессе эксплуатации
(Пересмотр №5)

Тип двигателя	Испытательный цикл	CO	THC	NMHC	CH ₄	NO _x	PM
ДВСВС	ESC	–	–	–	–	1,05	1,1
	ETC	1,1	1,05	–	–	1,05	1,1
Газовый ДВСПВ	ETC	1,1	1,05	1,05	1,2	1,05	–

Таблица 4

Показатели ухудшения выбросов ЗВ в процессе эксплуатации
(Пересмотр №6)

Испытательный цикл	CO	THC	NMHC	CH ₄	NO _x	NH ₃	PM (масса)	PM (число)
WHSC	1,3	1,3	1,4	1,4	1,15	1,0	1,05	1,0
WHTC	1,3	1,3	1,4	1,4	1,15	1,0	1,05	1,0

2.2.4.4. Проверка эксплуатационного соответствия

2.2.4.4.1. Проверка эксплуатационного соответствия согласно Пересмотру №5

Проверка АТС / ДВС, находящихся в эксплуатации, на соответствие установленным предписаниям проводится периодически на протяжении всего срока эксплуатации ДВС, установленного на АТС.

Контрольная проверка эксплуатационного соответствия осуществляется компетентным органом, предоставляющим официальное утверждение, на основе информации, переданной изготовителем. Составляемый изготовителем отчёт по эксплуатационному мониторингу должен основываться на результатах эксплуатационного испытания двигателей или транспортных средств и подкрепляться соответствующими проверенными протоколами испытаний.

Собранная изготовителем информация должна быть достаточно полной, с тем, чтобы можно было оценить эксплуатационную эффективность ССТД в нормальных условиях использования на протяжении соответствующего периода долговечности / срока эксплуатации, и должна давать репрезентативную картину представленности продукции изготовителя в различных районах мира.

В отчёте производителя по результатам проверки должно быть представлено не менее 5 двигателей. Испытания должны быть проведены по циклам ESC, ETC, ELR в соответствии с установленными требованиями.

Результат испытания может быть расценён как неудовлетворительный, если в процессе испытаний двух или более двигателей

применительно к любому регулируемому ЗВ уровень выбросов существенно превышает предельное значение.

Если компетентный орган удостоверяется, что тип двигателя не соответствует требованиям, он просит изготовителя представить план мер с целью устранения проблемы несоответствия. Изготовитель несёт ответственность за реализацию утверждённого плана мер по исправлению ситуации. План, в частности, должен включать описание метода, при помощи которого изготовитель доводит до сведения владельцев двигателей или транспортных средств информацию относительно мер по исправлению несоответствия.

2.2.4.4.2. Проверка эксплуатационного соответствия согласно Пересмотру №6

Начиная с Пересмотра №6, соответствие находящихся в эксплуатации транспортных средств или двигателей, относящихся к данному семейству двигателей, подтверждается посредством проведения испытаний транспортных средств на дороге, в обычных режимах управления, условиях и нагрузке (англ. *Real Driving Emissions, RDE*).

Данный тип испытаний направлен на выявление возможных деактивирующих стратегий, применяемых недобросовестными производителями для отключения или перенастройки системы снижения токсичности ДВС после прохождения сертификационных испытаний.

В частности, деактивирующие стратегии могут предусматривать особую настройку ЭБУД и ССТД для максимального подавления выбросов ЗВ при работе ДВС на моторном стенде при сертификации, а при установке ДВС на АТС настройки автоматически изменяются с целью обеспечения более высоких мощностных или экономических показателей.

Использование в системах двигателя и на транспортных средствах деактивирующих стратегий не допускается. Поэтому была разработана данная испытательная процедура.

После получения официального утверждения типа соответствующего семейства двигателей изготовитель проводит данные испытания в течение восемнадцати месяцев с момента первой регистрации АТС с использованием не менее трёх автомобилей.

Транспортное средство оснащается переносной системой измерения выбросов (ПСИВ) и управляется в нормальных условиях эксплуатации на улице в условиях дорожного движения.

Испытание проводят в условиях окружающей среды, удовлетворяющих следующим требованиям:

- атмосферное давление выше или равно 82,5 кПа,
- температура больше или равна 266 К (–7 °С) и меньше или равна температуре, рассчитанной по уравнению

$$T = -0,4514 \cdot (103,3 - p) + 311, \quad (39)$$

где T – температура окружающего воздуха в К;

p – атмосферное давление в кПа.

АТС, используемое для испытаний, должно быть репрезентативным для испытуемого ДВС и иметь пробег не менее 25 тыс. км.

Полезная нагрузка на АТС должна составлять 50...60% максимальной полезной нагрузки.

Пробег АТС должен состоять из этапов движения в городских условиях, в загородных условиях и в условиях автомагистрали в пропорции, указанной в табл. 5.

Таблица 5

Распределение общего пробега АТС в разных условиях при осуществлении испытания с использованием ПСИВ

Категория АТС	Доля пробега в специфических условиях движения, %		
	городских	загородных	автомагистрали
М1 и N1	34	33	33
М2 и М3	45	25	30
М2 и М3, относящихся к классу I, II или классу А	70	30	0
N2	45	25	30
N3	30	25	45

Скоростной режим АТС должен составлять при движении в городских условиях 0...50 км/ч, при движении в загородных условиях 50...75 км/ч, при движении по автомагистрали более 75 км/ч.

Маршрут выбирают таким образом, чтобы испытание проводилось без перерыва в условиях постоянной регистрации данных.

Установка оборудования ПСИВ не должна оказывать влияние на выбросы ЗВ, производимые АТС, и/или на его эффективность.

Регистрацию данных о выбросах и других параметров начинают до запуска двигателя. Оценку данных начинают после прогрева двигателя. Если двигатель глохнет, его можно запустить заново, но регистрацию данных при этом прекращать нельзя.

Отбор проб, измерение параметров ОГ, регистрацию параметров двигателя и данных об условиях окружающей среды производят в течение всего времени испытания. Двигатель можно останавливать и запускать, однако отбор проб выбросов продолжают в течение всего испытания.

Минимальная продолжительность испытания должна быть достаточно длительной, для того чтобы за это время можно было выполнить четырёх-восьмикратную работу, выполняемую в режиме WHTC, или выбросить пятикратную контрольную массу CO₂ (в кг/цикл) в режиме WHTC.

Периодические проверки газоанализаторов ПСИВ проводят не реже чем через каждые два часа.

После завершения испытательной процедуры производят согласование по времени каждой категории данных с другими категориями. В качестве категорий данных выступают:

- концентрации ЗВ;
- массовый расход и температура ОГ;
- крутящий момент, частота вращения, температура, расход топлива, скорость АТС.

Согласование осуществляют посредством определения наибольшего коэффициента корреляции между парными рядами параметров.

Если концентрации ЗВ измеряют на сухой основе, то их следует преобразовать в концентрации на влажной основе.

Выбросы газообразных ЗВ двигателем, которые подлежат измерению в составе ОГ, включают следующие компоненты: CO, THC, NO_x, а также NMHC и CH₄ для ДВС ПВ, работающих на природном газе. Дополнительно производят измерение CO₂.

Суммирование выбросов производят с использованием метода скользящего среднего в пределах «окна усреднения» на основе исходной массы CO₂ или исходной работы. Принцип расчёта состоит в следующем:

массу выбросов рассчитывают с использованием не всего набора данных в целом, а подгрупп полного набора данных, причём длину этих подгрупп данных определяют таким образом, чтобы она соответствовала массе выбросов CO₂ или работе, измеренной в течение цикла WHTC.

После этого рассчитывают «показатели соответствия», равные отношению рассчитанных удельных выбросов ЗВ в рассматриваемом испытательном цикле к предельным значениям выбросов этих ЗВ в цикле WHTC.

Максимально допустимые показатели соответствия выбросов газообразных ЗВ составляют 1,5. Для дисперсных частиц показатели соответствия не определяются.

Отчёт о результатах испытаний предоставляется органу по сертификации. Результат испытания может быть расценён как неудовлетворительный, если в процессе испытаний двух или более транспортных средств применительно к любому ЗВ превышены предельные значения показателей соответствия. В этом случае принимается решение об исправлении ситуации производителем.

2.2.4.5. Испытания для проверки бортовой диагностической системы

Бортовая диагностическая система (БДС) должна осуществлять мониторинг всех элементов и систем, предназначенных для ограничения выбросов и входящих в систему снижения токсичности ОГ двигателя (ССТД), выявлять соответствующие неисправности, сообщать об их наличии водителю и обеспечивать передачу информации о них сервисной службе в процессе технического обслуживания и ремонта. БДС также обеспечивает мониторинг собственных элементов.

В БДС могут использоваться следующие типы мониторинга каждой из этих систем:

- мониторинг предельных значений выбросов ЗВ;
- мониторинг эффективности данных элементов или систем;
- мониторинг полного функционального отказа данных элементов или систем;
- мониторинг работоспособности элементов.

В случае **мониторинга предельных значений** выбросов ЗВ должно выполняться требование о соотношении с удельными выбросами

в ходе испытательного цикла. Поскольку требования к срабатыванию БДС установлены в терминах удельных выбросов (г/кВт·ч), а первичными сигналами, обрабатываемыми БДС, являются сигналы от датчиков концентрации NO_x , изготовителю ДВС необходимо предусмотреть алгоритмы, используемые ЭБУД для соотнесения фактической концентрации NO_x в ОГ с удельным выбросом NO_x (в г/кВт·ч) при испытании ЕТС (начиная с Пересмотра №6 – WHTC).

Во всех других случаях мониторинга (т.е. мониторинга эффективности, мониторинга полного функционального отказа или мониторинга элементов) необходимости в соотнесении с фактическими выбросами нет.

Изготовители обеспечивают оснащение всех двигателей и транспортных средств соответствующей БДС.

БДС должна быть сконструирована, изготовлена и установлена на транспортном средстве таким образом, чтобы она могла выявлять сбои различных типов в течение всего срока эксплуатации двигателя.

БДС должна оповещать водителя в случае превышения предельных значений выбросов ЗВ (NO_x и ДЧ), установленных для её срабатывания (см. строку БДС прил. 1). Оповещение производится в форме появления предупреждающих надписей или сигналов на приборной панели, а также в форме принудительного ограничения максимального крутящего момента¹ ДВС.

Визуальное оповещение должно возникать при неполадках, приводящих к увеличению удельных выбросов NO_x более чем на 1,5 г/кВт·ч от базового уровня выбросов исправного двигателя в испытательном цикле ЕТС (WHTC начиная с Пересмотра №6).

Если уровень NO_x превышает предельные значения удельных выбросов, установленные для срабатывания БДС (см. строку БДС в прил.1), то принудительно ограничивается крутящий момент таким образом, чтобы это чётко воспринималось водителем транспортного

¹ Ограничение крутящего момента не осуществляется для АТС, предназначенных для использования вооружёнными силами, аварийно-спасательными службами, противопожарными службами и службами скорой медицинской помощи.

средства¹. Данная мера должна стимулировать оперативное устранение неисправности (сбоя). Нормальное функционирование транспортного средства может быть восстановлено только после устранения причин включения систем мотивации.

В обоих случаях формируется код сбоя, который должен храниться в памяти ЭБУД в течение по крайней мере 400 дней или 9600 часов работы двигателя. БДС также накапливает информацию о времени, в течение которого ДВС работает в режиме уведомления (т.е. сбоя или неисправности).

Испытания БДС включают процедуры определения правильности классификации сбоя и процедуры определения эффективности функционирования БДС.

Испытание БДС состоит из следующих этапов:

- имитация неисправности элемента системы управления двигателем или ССТД;
- предварительная подготовка БДС с имитируемой неисправностью в течение цикла предварительной подготовки;
- прогонка двигателя с имитируемой неисправностью в течение цикла испытания БДС;
- выяснение того, реагирует ли БДС на имитируемую неисправность и сигнализирует ли она о ней надлежащим образом.

Цикл испытания БДС для определения правильности классификации сбоя представляет собой укороченный² испытательный цикл ESC. При этом производить измерение объёма выбросов отработавших газов не требуется.

Цикл испытания БДС для определения эффективности функционирования БДС представляет собой испытательный цикл ETC (начиная с Пересмотра №6 – WHTC).

¹ Крутящий момент снижается минимум на 25...40% в зависимости от категории АТС. В Пересмотре №6 АТС оснащается двухуровневой системой мотивации водителя, предусматривающей сначала пассивную мотивацию, а затем активную мотивацию. Пассивная система мотивации ограничивает максимальный крутящий момент двигателя на 25 %, активная система мотивации ограничивает скорость движения АТС на уровне 20 км/ч.

² Двигатель работает в течение 60 с в каждом режиме.

В Правилах №49 также приводятся требования к обеспечению информационной безопасности работы БДС, надёжности хранения и передачи используемой внутри системы информации.

2.2.4.6. Испытания для проверки соответствия производства

Для проверки соответствия производства компетентный орган, предоставивший официальное утверждение, может осуществлять инспекцию, в ходе которой проверяется способность производителя обеспечивать надлежащее качество продукции. В частности, может быть проведено испытание любых трёх (или более) серийных двигателей без их какой-либо специальной подготовки к этому испытанию (рис. 21).

При минимальном размере выборки, равной трём двигателям, применяют такую процедуру отбора, чтобы вероятность прохождения испытания партией, содержащей 40% неисправных двигателей, составляла 0,95 (риск изготовителя = 5%), а вероятность принятия партии, содержащей 65% неисправных двигателей, составляла 0,10 (риск потребителя = 10%).

С момента вступления в действие Пересмотра №2 к Правилам №49 нормы на официальное утверждение и на соответствие производства идентичны.



Рис. 21. Процедура испытаний серии ДВС на соответствие производства

2.2.4.7. Испытания для проверки соответствия уровня выбросов ЗВ в произвольном цикле испытаний

Данный тип испытаний направлен на выявление возможных деактивирующих стратегий, применяемых недобросовестными производителями для отключения или перенастройки системы снижения токсичности ДВС после прохождения сертификационных испытаний. Такие деактивирующие стратегии могут, в частности, включать особую настройку ЭБУД и ССТД, которая максимально подавляет выбросы ЗВ только на режимах сертификационных испытаний (например, ESC или WHSC), а на остальных режимах работы двигателя подавление деактивируется с целью обеспечения более высоких мощностных или экономических показателей двигателя.

Использование в системах ДВС и на АТС деактивирующих стратегий не допускается. Поэтому была разработана данная испытательная процедура на основе глобальных технических правил ГТП ООН № 10 «**Всемирно согласованная методология неперевышения**» (англ. *World harmonized Not-To-Exceed methodology, WNTE*).

Процедура испытания WNTE заключается в следующем.

Определяется контрольная область WNTE – область режимов работы ДВС, ограниченная слева – частотой вращения n_{30} , соответствующей 30-му перцентилю распределения совокупных частот вращения по всему циклу испытаний WHTC, справа – частотой вращения n_{hi} , соответствующей наибольшей частоте вращения, при которой достигается 70% от максимальной мощности, снизу – линиями, соответствующими 30% от максимального крутящего момента и 30% от максимальной мощности (рис. 22).

Испытание проводится в общей сложности в 15 произвольно¹ выбранных установившихся режимах работы ДВС в пределах контрольной области WNTE. Двигатель работает в течение 2 минут в каждом режиме. Это время включает переход с предыдущего режима. Общая продолжительность испытания от начала до конца должна составлять 30 минут.

¹ С использованием признанных статистических методов рандомизации.

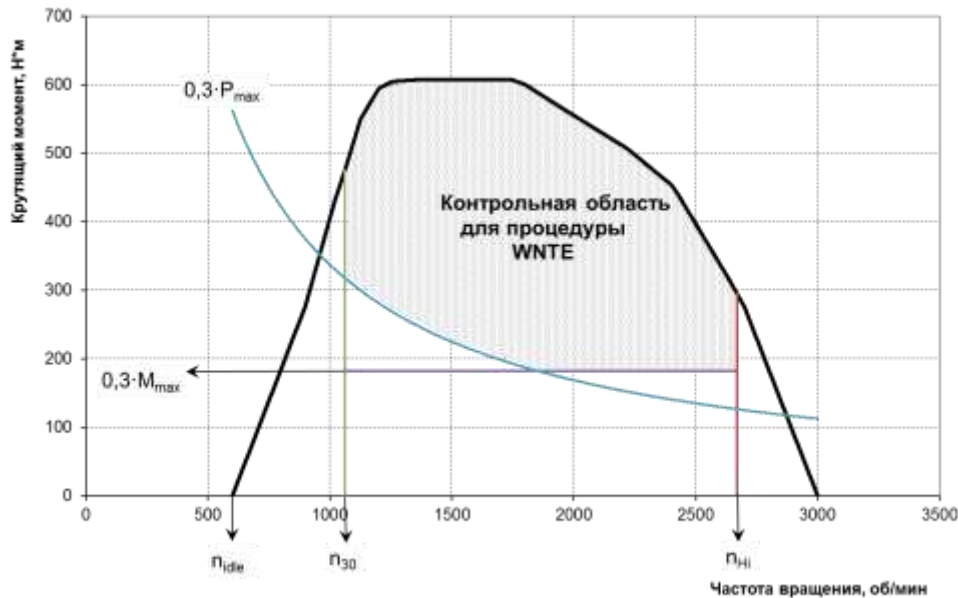


Рис. 22. Определение контрольной области для процедуры WNTe

Измерение, обработка и оценка достоверности данных производится аналогично испытательной процедуре WHSC.

Средние по всем 15 режимам значения удельных выбросов ЗВ не должны превышать предельных значений, указанных ниже¹:

- для CO: 2,0 г/кВт·ч;
- для THC: 0,22 г/кВт·ч;
- для NO_x: 0,6 г/кВт·ч;
- для PM: 0,016 г/кВт·ч.

2.2.5. Правила ЕЭК ООН №83 (выбросы ЗВ с ОГ лёгких АТС)

Правила ЕЭК ООН № 83 применяются к АТС категорий M₁, M₂, N₁ и N₂, контрольная масса которых не превышает 2610 кг. Контрольная масса означает сумму собственной массы АТС и дополнительной условной массы, равной 100 кг.

В Правилах № 83 для оценки уровня экологической безопасности АТС с точки зрения выбросов ЗВ применяются 8 типов испытаний:

- **Тип I** – проверка среднего уровня пробеговых выбросов загрязняющих веществ (CO, CH, NO_x, ДЧ) после запуска

¹ В Пересмотре №6.

холодного двигателя при имитации движения автомобиля на динамометрическом стенде с беговыми барабанами;

- **Тип II** – проверка концентрации CO на режиме холостого хода;
- **Тип III** – проверка отсутствия выбросов картерных газов;
- **Тип IV** – проверка выбросов CH в результате испарения топлива из системы питания;
- **Тип V** – проверка долговечности ССТД;
- **Тип VI** – проверка среднего уровня пробеговых выбросов CO и CH после запуска холодного двигателя при имитации движения автомобиля в городских условиях при низкой температуре воздуха ($-7\text{ }^{\circ}\text{C}$) на динамометрическом стенде с беговыми барабанами (начиная с Правил №83/05);
- **Тип VII** – проверка работоспособности БДС (начиная с Правил №83/05);
- **Тип VIII** – проверка эксплуатационного соответствия (начиная с Правил №83/06).

Обязательность применения указанных типов испытаний зависит от топлива, на котором работает АТС.

2.2.5.1. Испытания Типа I (оценка пробеговых выбросов ЗВ при имитации движения АТС)

Испытания Типа 1 заключаются в проверке среднего уровня пробеговых выбросов ЗВ после запуска холодного двигателя при имитации движения автомобиля. Этому испытанию подвергаются АТС, работающие на любом виде топлива.

Определяются пробеговые выбросы углерода оксида (CO), оксидов азота (NO_x), выраженных в эквиваленте азота диоксида (NO_2), дисперсных частиц (ДЧ) и углеводородов (ТНС), выраженных в эквиваленте:

- $\text{C}_1\text{H}_{1,85}$ для бензина типа E0¹;
- $\text{C}_1\text{H}_{1,89}\text{O}_{0,016}$ для бензина типа E5;
- $\text{C}_1\text{H}_{1,93}\text{O}_{0,033}$ для бензина типа E10;
- $\text{C}_1\text{H}_{2,61}\text{O}_{0,329}$ для этанола (E75);

¹ Данная маркировка (E0, E5, E10, E75 или E85) означает содержание в бензине этанола, соответственно 0%, 5%, 10%, 75% или 85%.

- $C_1H_{2,74}O_{0,385}$ для этанола (E85);
- $C_1H_{1,86}$ для дизельного топлива типа B0¹;
- $C_1H_{1,86}O_{0,005}$ для дизельного топлива типа B5;
- $C_1H_{1,86}O_{0,007}$ для дизельного топлива типа B7;
- $C_1H_{2,525}$ для сжиженного углеводородного газа (СУГ);
- C_1H_4 для природного газа (ПГ) и биометана.

Кроме того, для АТС, работающих на природном газе, из состава общих углеводородов (ТНС) выделяют неметановые углеводороды.

Начиная с серии поправок №6 к Правилам измерению подлежат как массовый выброс ДЧ, выраженный в г/км, так и счётное количество² ДЧ, выраженное в ед/км.

В ходе испытания температура в испытательном боксе должна находиться на уровне 293...303 К (20...30 °С). Абсолютная влажность воздуха в испытательном боксе должна быть в пределах 5,5...12,2 г H₂O/кг сухого воздуха.

Процедура испытаний состоит из следующих этапов:

- АТС устанавливается на динамометрическом стенде с беговыми барабанами, оборудованном системой имитации сопротивления движению. Динамометр регулируют таким образом, чтобы суммарная инерция вращающихся масс имитировала силы сопротивления движению, действующие на АТС при движении по дороге;
- на АТС направляют поток воздуха с переменной скоростью, зависящей от скорости имитируемого движения;
- газоанализаторы выбросов устанавливают на ноль и задают их диапазон измерений. Мешки для отбора проб должны быть опорожнены;
- имитируется движение АТС в комбинированном ездовом цикле, включающем в себя 4 городских и 1 загородный ездовые циклы (см. главу 1.2.4). Первый цикл начинают с процедуры запуска двигателя;

¹ Данная маркировка (B0, B5 или B7) означает содержание в дизельном топливе биодизельной добавки, соответственно 0%, 5% или 7%.

² Общее число ДЧ диаметром свыше 23 нм, остающихся в разбавленных ОГ после их очистки от летучих ЗВ.

- во время испытания отработавшие газы АТС разбавляются очищенным воздухом для предотвращения возможной конденсации ЗВ, и пропорциональная расходу ОГ проба собирается в один или несколько специальных мешков (ДЧ собираются на одном аналитическом фильтре). Измерение содержания счётного количества ДЧ производится непрерывно. Также непрерывно измеряется ТНС для АТС с ДВСВС в системе HFID. Непрерывно регистрируют параметры движения АТС, объёмный расход ОГ и другие необходимые параметры. Отбор проб начинают до или в момент начала процедуры запуска двигателя и завершают по окончании последнего периода холостого хода в ездовом цикле;
- после завершения реализации ездового цикла проводят повторную проверку анализаторов, используемых для проведения непрерывных измерений, с помощью нулевого и поверочного газов. Испытание считается приемлемым, если расхождение между результатами, полученными до и после испытания, составляет менее 2% значения, полученного для поверочного газа.

Анализ проб ОГ, содержащихся в каждом мешке, производят, по возможности, сразу же или не позднее 20 минут после окончания испытательного цикла.

Не позднее чем через один час после завершения испытания заполненный испытательный фильтр ДЧ помещают в камеру для взвешивания, где его выдерживают в течение не менее 2 и не более 80 часов, а затем взвешивают.

Испытания проводятся три раза, после чего производится расчёт пробеговых выбросов ЗВ.

Пробеговые выбросы газообразных ЗВ (MEM , г/км) рассчитывают по следующей формуле

$$MEM_i = \frac{Q_{mix} \cdot d_i \cdot k_n \cdot C_i \cdot 10^{-6}}{L_{test}}, \quad (40)$$

где Q_{mix} – объём разбавленных ОГ, приведённый к эталонным условиям (273,2 К и 101,33 кПа), л/испытание;

d_i – плотность i -го ЗВ при эталонных значениях температуры и

давления (273,2 К и 101,33 кПа), г/л;
 (для углерода оксида (СО): $d = 1,25$ г/л;
 для оксидов азота (NO_x): $d = 2,05$ г/л;
 для углеводородов:

- бензин (Е5): $d = 0,631$ г/л;
- бензин (Е10): $d = 0,645$ г/л;
- дизельное топливо (В5): $d = 0,622$ г/л;
- дизельное топливо (В7): $d = 0,623$ г/л;
- СУГ: $d = 0,649$ г/л;
- ПГ/биометан: $d = 0,714$ г/л;
- этанол (Е75): $d = 0,886$ г/л
- этанол (Е85): $d = 0,932$ г/л).

k_h – коэффициент поправки на влажность, используемый для корректировки концентрации NO_x ;

C_i – концентрация i -го ЗВ в разбавленной пробе ОГ, скорректированная на концентрацию этого ЗВ в разбавляющем воздухе, млн^{-1} ;

L_{test} – расстояние, пройденное в рамках ездового цикла, км.

При расчёте пробеговых выбросов углеводородов (ТНС) для АТС с ДВСВС среднюю концентрацию ТНС за испытательный цикл определяют следующим образом

$$C_{ТНС} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} C_{ТНС_inst} \cdot dt}{t_2 - t_1}, \quad (41)$$

где $C_{ТНС_inst}$ – измеренная мгновенная концентрация ТНС в разбавленных ОГ, млн^{-1} ;

t_1 и t_2 – время начала и окончания измерений соответственно.

Пробеговые выбросы дисперсных частиц (MEM_{PM} , г/км) рассчитывают по формуле

$$\text{MEM}_{PM} = \frac{Q_{mix} \cdot M_{PM}}{Q_{PM} \cdot L_{test}}, \quad (42)$$

где Q_{mix} – общий объём разбавленных ОГ, приведённый к эталонным условиям (273,2 К и 101,33 кПа), л/испытание;

Q_{PM} – объём ОГ, прошедших через аналитический фильтр, приведённый к эталонным условиям (273,2 К и 101,33 кПа), л/испытание;

M_{PM} – масса дисперсных частиц, осаждённых на фильтре, г;

L_{test} – расстояние, пройденное в рамках ездового цикла, км.

Пробеговые выбросы счётного количества дисперсных частиц (MEM_{PMc} , ед/км) рассчитывают по формуле

$$MEM_{PMc} = \frac{Q_{mix} \cdot k_c \cdot C_{PMc} \cdot f_r \cdot 10^3}{L_{test}}, \quad (43)$$

где Q_{mix} – общий объём разбавленных ОГ, приведённый к эталонным условиям (273,2 К и 101,33 кПа), л/испытание;

k_c – коэффициент калибровки, используемый для корректировки показаний счётчика количества ДЧ и приведения их в соответствие с показаниями эталонного прибора;

C_{PMc} – скорректированная средняя за цикл испытаний концентрация ДЧ в разбавленных ОГ, ед/см³, значение которой получено по формуле, аналогичной формуле (41);

f_r – средний коэффициент снижения концентрации ДЧ для отделителя летучих частиц;

L_{test} – расстояние, пройденное в рамках ездового цикла, км.

Результаты умножают на соответствующие коэффициенты ухудшения, полученные в ходе испытаний Типа V. В случае наличия ССТД с периодической регенерацией, результаты также следует умножать на коэффициенты, учитывающие эффект повышения выбросов в процессе регенерации.

АТС с гибридной силовой установкой подвергаются испытаниям Типа I как при полностью заряженном устройстве накопления энергии и использовании режима с преимущественным потреблением электроэнергии (условие А), так и при полностью разряженном устройстве накопления энергии и использовании режима с преимущественным потреблением топлива (условие В). В приложении к сертификату указываются значения пробеговых выбросов, полученных как при условии А, так и при условии В, а также средневзвешенное значение.

Принципы подготовки к соблюдению условий А и В описаны в главе 2.1.4.

Результирующие пробеговые выбросы ЗВ должны быть меньше предельных величин, указанных в прил. 1 для соответствующих категорий АТС.

2.2.5.2. Испытание Типа II (проверка концентрации СО в режиме холостого хода)

Испытание Типа II состоит в проверке концентрации СО в режиме холостого хода. Данное испытание проводят на всех АТС, оснащённых ДВСПВ.

Пробоотборный зонд вводят на глубину не менее 300 мм в трубу, соединяющую глушитель транспортного средства с камерой для отбора проб, как можно ближе к глушителю.

Вначале проводят измерение концентраций СО и СО₂ в ОГ при регулировке холостого хода ДВС в соответствии с требованиями, установленными изготовителем. Затем проводят замеры концентраций этих ЗВ в ОГ при всех возможных положениях регулировочных элементов¹ холостого хода.

Концентрация СО и СО₂ определяется по шкале измерительного прибора. После этого рассчитывается скорректированная величина концентрации СО

$$C_{CO}^{кorr} = C_{CO} \frac{15}{C_{CO} + C_{CO_2}} \quad (44)$$

При проведении проверки на холостом ходу с минимальной частотой вращения ДВС объёмное содержание СО в ОГ не должно превышать 0,3%².

При проведении проверки на холостом ходу с повышенной частотой вращения ДВС (не менее 2000 мин⁻¹) содержание СО по объёму в ОГ не должно превышать 0,2%, а коэффициент избытка воздуха³ α должен составлять 1±0,03.

2.2.5.3. Испытание Типа III (контроль выбросов картерных газов)

Испытание Типа III представляет собой контроль выбросов картерных газов. Данное испытание не проводится только на АТС, оснащённых ДВСВС.

¹ Регулировочные элементы холостого хода – приспособления для изменения режима холостого хода двигателя, которыми можно легко манипулировать при помощи лишь простейших слесарных инструментов.

² Начиная с Поправок серии №04.

³³ В англоязычной литературе этот коэффициент обозначается буквой λ.

В ходе испытания система вентиляции картера двигателя не должна допускать выброса никаких картерных газов в атмосферу.

Измерения проводят на трёх режимах работы двигателя (табл. 6).

Во время испытаний измеряется давление внутри картера при помощи манометра, установленного на отверстии для контроля уровня масла. Транспортное средство считается соответствующим требованиям, если на каждом из режимов измеренное давление в картере не превышает атмосферного давления.

Таблица 6

Режимы работы двигателя при контроле выбросов картерных газов

Режим №	Скорость АТС, км/ч	Мощность, поглощаемая тормозом стенда
1	На холостом ходу	Не поглощается
2	50 ± 2^1	Мощность, соответствующая регулировке для испытаний Типа I
3	50 ± 2	Мощность, соответствующая режиму №2, умноженная на коэффициент 1,7

Если на каком-либо из режимов измеренное давление в картере превышает атмосферное, то может быть проведено дополнительное испытание. Оно заключается в том, что к отверстию щупа уровня масла через специальный клапан присоединяется пустая эластичная ёмкость, объёмом около 5 л. На каждом режиме испытаний клапан открывается на 5 минут. Транспортное средство считается выдержавшим испытание, если не наблюдается видимого надувания камеры.

2.2.5.4. Испытание Типа IV (определение выбросов ТНС в результате испарения топлива из системы питания АТС)

Испытание Типа IV представляет собой определение выбросов углеводородов в результате испарения топлива из системы питания АТС. Данное испытание не проводят для АТС, оснащённых ДВСВС, поскольку дизельное топливо практически не испаряется при эксплуатационных температурах окружающей среды, а также ДВСПВ, работающих на СУГ или ПГ/биометане, поскольку данные системы питания герметичны.

Испарения (англ. Evaporative emissions, **EVAP**) представляют собой **летучие органические соединения** (ЛОС). Они в основном образуются

¹ На третьей передаче или в режиме «Drive».

из-за испарения топлива, проникновения паров топлива через элементы системы питания АТС и/или утечек. Испарения присутствуют и во время движения автомобиля, и во время заправки его топливом, и когда автомобиль не используется для движения, а, например, припаркован.

Выбросы ЛОС могут также поступать из других источников, таких как шины, интерьер, пластмассы или жидкость для омывания лобового стекла. Но эти выбросы, не связанные с топливом, обычно невелики и имеют тенденцию к снижению с течением времени. Поэтому эти выбросы в целом не учитываются и не ограничиваются. Однако они будут частью выбросов EVAP, измеряемых на бензиновом транспортном средстве. В ближайшее время будут приняты правила ООН по качеству воздуха в салоне автомобиля. В Южной Корее и России¹ такие правила уже действуют.

Испарение – это сложное явление, которое зависит от множества факторов, таких как:

- климатические условия;
- свойства топлива;
- процесс заправки;
- схема вождения и парковки;
- технология, используемая для сокращения этих выбросов.

В ходе процесса заправки автомобиля топливом происходит вытеснение паров из бензобака в окружающую среду. Для предотвращения этого в Европе и некоторых других странах используют системы улавливания этих паров с последующим направлением их в цистерну автозаправочной станции. Эта система не относится к конструкции автомобиля, поэтому её проверка не входит в процесс сертификации. В США применяется другая система: в ходе заправки заправочный пистолет герметизирует горловину бензобака и пары топлива вынуждены вытесняться через **бортовую систему рекуперации паров** (англ. *On-board Vapor Recovery System, ORVR*), где они адсорбируются активированным углём. Эта система дешевле и эффективнее европейской, однако требует установки на автомобиль

¹ ГОСТ 33554-2015 Автомобильные транспортные средства. Содержание загрязняющих веществ в воздухе кабины водителя и пассажирского помещения. Технические требования и методы испытаний

адсорбера большего объёма и соответствующей проверки эффективности при сертификации.

Поскольку ёмкость адсорбера ограничена, его необходимо регулярно регенерировать. Для создания потока воздуха, проходящего в обратном направлении через адсорбер, используется разрежение во впускном коллекторе двигателя. Смесь воздуха и углеводородов всасывается в двигатель и сжигается. Это позволяет десорбировать углеводороды из активированного угля. Таким образом, испарения топлива устраняются, и, кроме того, испарённое топливо не теряется впустую¹.

В ходе сертификационных испытаний по Правилам ЕЭК ООН №83 Типа IV моделируются две ситуации:

- утечки углеводородов из системы питания в процессе т.н. «горячего насыщения», представляющего собой остывание остановленного АТС после движения в городских условиях;
- утечки углеводородов из системы питания под воздействием колебаний суточной температуры (т.н. «суточное дыхание»).

Для получения общего результата испытания значения массы выбросов углеводородов в результате горячего насыщения и суточного дыхания суммируются.

Испытание проводится в специальной **газонепроницаемой камере** (англ. *Sealed Housing for Evaporative emission Determination, SHED*) прямоугольной формы, способной вместить испытываемое АТС. Внутренняя поверхность камеры должна быть непроницаемой для углеводородов. Система температурного кондиционирования должна обеспечивать контроль внутренней температуры воздуха в камере со средним допуском ± 1 К в ходе испытания. Для компенсации изменений объёма, вызванных изменением температуры, используют либо камеру с изменяющимся объёмом, либо камеру с неизменным объёмом.

Камера с изменяющимся объёмом оборудована средствами компенсации изменения внутреннего объёма², которые способны расширяться или сжиматься в зависимости от изменения температуры

¹ В адсорбере может быть накоплено столько углеводородов, что двигатель может работать только на них до 20 минут.

² Например, поршневого типа или в виде эластичной ёмкости.

воздушной массы в камере.

Камера с неизменным объёмом должна быть оборудована приспособлением, которое медленно и постоянно отводит поток воздуха из камеры в течение её нагрева, а также приспособлением, которое вводит поток кондиционированного воздуха в камеру при её охлаждении. Нагнетаемый воздух очищается активированным углём для обеспечения относительно низкого уровня углеводородов. Используемое оборудование должно обеспечивать возможность измерения массы углеводородов в нагнетаемом и отводимом потоках воздуха.

Возможность снижения концентрации углеводородов внутри испытательной камеры до уровня их концентрации в окружающем воздухе (т.н. «**продувка**» камеры) обеспечивается с помощью одного или нескольких вентиляторов при открытых дверях камеры.

Воздух внутри испытательной камеры контролируется с помощью анализатора углеводородов типа FID. Отбор проб воздуха должен производиться в центре одной боковой стенки или крыши камеры.

АТС подготавливается к испытанию следующим образом:

- производится паровая очистка АТС;
- топливный бак АТС оснащают температурным датчиком, позволяющим осуществлять замеры температуры в точке, находящейся в центре объёма топлива, содержащегося в баке, когда он заполнен на 40% от своей ёмкости;
- проверяют и в случае необходимости стабилизируют состояние штатного адсорбера для улавливания углеводородов.

АТС помещают в зону проведения испытания, где температура окружающего воздуха составляет 293...303 К (20...30 °С).

Производят **предварительную подготовку штатного адсорбера**, суть которой заключается в полной «загрузке» адсорбера парами топлива с последующей штатной десорбцией во время выполнения одного городского и двух внегородских ездовых циклов испытания Типа I.

В течение пяти минут после этого АТС снимают с динамометрического стенда и помещают зону проведения испытания для **кондиционирования** в течение не менее 12 и не более 36 часов. По истечении этого периода температура моторного масла и охлаждающей жидкости в ДВС должна равняться температуре окружающей среды или находиться в пределах ± 3 К от этой температуры.

После этого начинают процедуру определения испарений после **«горячего насыщения»**:

- осуществляют продувку испытательной камеры;
- АТС вновь устанавливают на динамометрический стенд и производят комбинированный ездовой цикл испытания Типа I. В течение двух минут после этого проводят один городской цикл испытания Типа I. Затем двигатель АТС выключают;
- АТС с остановленным двигателем, открытыми окнами и багажником перемещают в измерительную камеру;
- двери камеры закрывают и герметизируют в течение 2 минут после остановки двигателя и не позднее чем через 7 минут после завершения городского ездового цикла;
- отсчёт времени ($60 \pm 0,5$ мин.), необходимого для проведения испытания на «горячее насыщение», начинают с момента герметизации камеры. Замеряют концентрацию углеводородов, температуру и барометрическое давление, чтобы зафиксировать соответствующие начальные значения C_{HCi} , P_i и T_i для испытания на «горячее насыщение». В ходе испытания на «горячее насыщение» температура воздуха в испытательной камере не должна опускаться ниже 296 К (23 °С) и подниматься выше 304 К (31 °С);
- по окончании периода испытания, равного $60 \pm 0,5$ мин., замеряют концентрацию углеводородов в камере, а также температуру и барометрическое давление. Таким образом фиксируют окончательные значения C_{HCf} , P_f и T_f для испытания на «горячее насыщение».

Испытываемое АТС перемещают в зону проведения испытания без использования двигателя и выдерживают в этой зоне не менее 6 и не более 36 часов в период между окончанием испытания на «горячее насыщение» и началом испытания на «суточное дыхание». Не менее 6 часов в течение этого периода АТС выдерживают при 293 ± 2 К (20 ± 2 °С).

После этого начинают процедуру определения испарений в ходе **«суточного дыхания»**:

- осуществляют продувку испытательной камеры;
- испытываемое АТС с отключённым двигателем и открытыми

окнами и багажником перемещают в измерительную камеру. Двери камеры закрывают и герметизируют;

- в течение 10 минут после закрытия и герметизации дверей измеряют концентрацию углеводородов, температуру и барометрическое давление с целью фиксации первоначальных значений C_{HCi} , P_i и T_i для испытания «суточное дыхание». В момент измерения фиксируют время $T_{нач} = 0$.
- период испытания «суточное дыхание» завершается через 24 часа ± 6 минут после $T_{нач}$. Производят измерение концентрации углеводородов, температуры и барометрического давления с целью фиксации окончательных значений C_{HCf} , P_f и T_f для испытания «суточное дыхание».

На этом процедура испытания Типа IV завершается.

После завершения испытательной процедуры рассчитывают выбросы углеводородов в результате испарения. Для расчёта массы выбросов углеводородов M_{CH} , г, на каждом из двух этапов испытания применяется следующая формула

$$M_{CH} = k \cdot V \cdot 10^{-4} \cdot \frac{C_{CH-f} \cdot P_f}{T_f} - \frac{C_{CH-i} \cdot P_i}{T_i}, \quad (45)$$

где C_{CH} – измеренная концентрация углеводородов (в эквиваленте C_1) в испытательной камере, млн^{-1} ;

V – чистый объём камеры за вычетом объёма АТС с открытыми окнами и багажником, м^3 . Если объём АТС не определён, то он считается равным $1,42 \text{ м}^3$;

P – абсолютное давление в испытательной камере, кПа;

T – температура воздуха в камере, К;

i – индекс начального значения;

f – индекс окончательного значения;

k – коэффициент, принимаемый равным 17,196 для «суточного дыхания» и 17,04 для «горячего насыщения».

Суммарный выброс углеводородов за все этапы испытания Типа IV не должен превышать 2 (двух) грамм.

Кроме этого, должны быть приняты меры для предотвращения чрезмерных выбросов в результате испарения и утечки топлива из-за отсутствия крышки заливной горловины топливного бака.

Этого можно достичь при помощи одной из следующих мер:

- использования несъемной крышки заливной горловины топливного бака, открывающейся и закрывающейся автоматически;
- использование крышки со страховочным тросиком, крышки с цепочкой или крышки, для открытия которой используется тот же ключ, что и для замка зажигания АТС. В последнем случае ключ должен выниматься из замка крышки заливной горловины только в закрытом положении.

2.2.5.5. Испытание Типа V (проверка долговечности системы снижения токсичности двигателя)

Испытание Типа V подтверждает долговечность системы снижения токсичности двигателя (ССТД) автомобиля и представляет собой ресурсное испытание при определённом пробеге. Этому испытанию подвергаются АТС, работающие на любом виде топлива.

Наработка пробега АТС производится на испытательном треке, дороге или динамометрическом стенде.

Через каждые 10000 км пробега¹ проводятся испытания Типа I. Полученные данные о пробеговых выбросах ЗВ используются для вычисления поправочных коэффициентов, показывающих относительное изменение выбросов от пробега.

В Правилах № 83-01...№83-04 данные коэффициенты определяются на пробеге 80000 км.

В Правилах № 83-05 данные коэффициенты определяются на пробеге 100 000 км.

В Правилах № 83-06 и № 83-07 данные коэффициенты определяются на пробеге 160 000 км.

Процедура вычисления поправочных коэффициентов аналогична процедуре из Правил №49, описанной в главе 2.2.4.3.

Выбросы ЗВ согласно испытанию Типа I с учётом их умножения на поправочные коэффициенты не должны превышать установленные предельные значения. Изготовитель в качестве альтернативы испытанию может выбрать коэффициенты ухудшения, которые указаны в табл. 7.

¹ С соблюдением определённого режима движения.

Таблица 7

**Коэффициенты ухудшения выбросов ЗВ в процессе эксплуатации
АТС**

Тип ДВС	Поправки серии	СО	ТНС	NMHC	NO _x	НС + NO _x	Масса ДЧ	Число ДЧ
ДВСПВ	01...04	1,2	1,2	-	1,2	1,2	-	-
	05	1,0	1,0	-	1,	-	-	-
	06...07	1,5	1,3	1,3	1,6	-	1,0	1,0
ДВСВС	01...04	1,1	-	-	1,0	1,0	1,2	-
	05	1,0	-	-	1,0	1,0	1,0	-
	06	1,5	-	-	1,1	1,1	1,0	1,0

2.2.5.6. Испытание Типа VI (оценка пробеговых выбросов при низкой температуре)

Испытание Типа VI заключается в определении пробеговых выбросов СО и ТНС (г/км) в городских условиях при низкой температуре воздуха ($-7\text{ }^{\circ}\text{C}$). Этому испытанию не подвергаются только АТС, оснащённые ДВСВС. Однако для таких АТС изготовители должны гарантировать, что устройство очистки ОГ от NO_x достигает достаточно высокой температуры, обеспечивающей эффективную работу устройства не позднее чем через 400 с после запуска холодного ДВС.

Перед проведением испытаний АТС заправляют эталонным топливом, проводят прогрев путём выполнения одного городского и двух загородных ездовых циклов и кондиционируют в течение не менее 12 часов, но не более 36 часов при температуре 266 К ($-7\text{ }^{\circ}\text{C}$) $\pm 3\text{ K}$ для обеспечения воспроизводимости испытаний.

Транспортное средство устанавливают в климатической камере на динамометрическом стенде, оборудованном системой имитации нагрузки и инерции. Динамометр регулируется с целью имитации движения АТС на дороге при 266 К ($-7\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Испытание состоит из четырёх простых городских ездовых циклов (см. главу 1.2.4), включая запуск двигателя. Значения температуры внешней среды при испытании АТС должны составлять в среднем 266 К ($-7\text{ }^{\circ}\text{C}$) $\pm 3\text{ K}$, но не менее 260 К ($-13\text{ }^{\circ}\text{C}$) и не более 272 К ($-1\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Отбор проб начинается до или в начале процедуры запуска двигателя и прекращается по завершении последнего периода работы на холостом ходу в рамках последнего четвёртого городского ездового цикла.

В ходе испытания производится разбавление отработавших газов и отбор пропорциональной объёму ОГ пробы. Пробу анализируют на предмет содержания CO, CO₂ и THC. Параллельно аналогичным образом анализируют пробу воздуха, используемого для разбавления ОГ. Также измеряют общий объём разбавленных ОГ.

Данное испытание проводят три раза.

Коэффициенты ухудшения выбросов в эксплуатации не применяются.

Предельные значения пробеговых выбросов CO и THC должны быть меньше значений, приведённых в прил. 1.

2.2.5.7. Испытание Типа VII (проверка работоспособности бортовой диагностической системы)

Испытание Типа VII заключается в проверке работоспособности бортовой диагностической системы (БДС). Этому испытанию подвергаются АТС, работающие на любом виде топлива.

БДС должна быть в состоянии выявлять возможную зону неисправности ССТД при помощи программ выявления неисправностей, введённых в память ЭБУД.

Все АТС оснащаются БДС, сконструированной, изготовленной и установленной на АТС таким образом, чтобы в течение всего срока эксплуатации этого АТС можно было выявлять типы неисправностей или сбоев в его работе.

Изготовитель может предусматривать блокировку БДС, когда запуск ДВС производится при температуре окружающей среды, не достигающей 266 К (–7 °С), или на высотах более 2500 м над уровнем моря.

Зоны контроля БДС – нейтрализатор, система зажигания, кислородный датчик, система предотвращения испарений топлива, другие устройства, влияющие на уровень выбросов ЗВ.

Чувствительность БДС задаётся предельными отклонениями пробеговых выбросов ЗВ при испытаниях Типа I (прил. 1). Испытания проводят на АТС, используемых для ресурсного испытания Типа V.

БДС должна указывать на несрабатывание любых элементов или систем, имеющих отношение к выбросам, в тех случаях, когда такое несрабатывание влечёт за собой превышение предельных величин пробеговых выбросов ЗВ. В этих случаях БДС должна включать индикатор неисправностей, который мог бы без труда видеть водитель. БДС должна также регистрировать код(ы) неисправностей, указывающий(и) на состояние ССТД, а также расстояние, пройденное АТС при включённом индикаторе неисправностей.

Процедура проверки БДС предусматривает применение **метода имитации неисправности** соответствующих систем управления двигателем или ССТД. Проверка считается успешной, если при испытании АТС, оснащённого неисправным элементом или устройством, включается индикатор неисправностей.

В АТС, оснащённых ССТД с использованием дополнительного реагента для восстановления NO_x , должна присутствовать система предупреждения водителя:

- об аномалии в дозированной подаче реагента;
- о низком уровне реагента;
- о прерывании подачи реагента;
- о том, что данный реагент не соответствует качеству, указанному изготовителем.

Для привлечения внимания водителя эта система предупреждения может также включать звуковой компонент сигнала.

Система предупреждения должна включаться на расстоянии, эквивалентном дальности пробега не менее 2400 км до того момента, как в ёмкости закончится реагент.

В целях контроля за расходом реагента должен осуществляться мониторинг, как минимум, следующих параметров:

- а) уровня реагента в бортовой заправочной ёмкости;
- б) расхода реагента в точке, расположенной как можно ближе к точке впрыска в нейтрализатор.

В качестве альтернативного варианта контроля за превышением уровней выбросов NO_x изготовители могут использовать непосредственно датчики концентрации NO_x в ОГ. Выбросы NO_x в ходе испытаний Типа I не должны более чем на 20% превышать предельные значения, указанные в прил. 1, умноженные на коэффициент 1,5.

В АТС, оснащённых ССТД с использованием дополнительного реагента для восстановления NO_x , также должна присутствовать **система контроля за поведением водителя**, исключающая возможность работы АТС с порожней заправочной ёмкостью реагента.

Тип системы контроля за поведением водителя выбирается изготовителем АТС. После активации системы контроля за поведением водителя возможны следующие варианты:

- блокировка запуска двигателя после предупредительного обратного отсчёта;
- блокировка запуска двигателя после заправки топливом;
- блокировка возможности заправки топливом;
- ограничение скорости АТС не более 50 км/ч.

Система стимулирования действий водителя включается самое позднее в тот момент, когда уровень реагента в заправочной ёмкости достигает 5% от её полной вместимости.

Система контроля деактивируется только в том случае, если количество реагента, заправленного в АТС, эквивалентно средней дальности пробега, соответствующего 150% средней дальности пробега с полным топливным баком; или количество составляет не менее 10% полной вместимости ёмкости для реагента.

Изготовители АТС обеспечивают работоспособность ССТД в любых условиях окружающей среды, особенно при низких температурах воздуха. Это предусматривает принятие мер по предотвращению полного замерзания реагента во время стоянки продолжительностью до 7 дней при температуре 258 К ($-15\text{ }^\circ\text{C}$) и при заполненной реагентом заправочной ёмкости на 50%. Если реагент замерзает, изготовитель обеспечивает его работоспособность не позднее чем через 20 минут после запуска двигателя при температуре 258 К ($-15\text{ }^\circ\text{C}$), измеряемой внутри ёмкости для заправки реагента, с тем чтобы обеспечить правильную работу системы ограничения выбросов.

2.2.5.8. Испытание Типа VIII (проверка эксплуатационного соответствия АТС)

2.2.5.8.1. Проверка эксплуатационного соответствия АТС согласно ЕВРО-5

Испытание Типа VII подразумевает проверку эксплуатационного соответствия АТС, работающих на любом виде топлива.

Процедура проверки эксплуатационного соответствия разрабатывается производителем АТС, он же осуществляет эту проверку и подготавливает отчёт о её результатах. Отчёт передаётся в орган по сертификации. В случае если отчёт вызывает сомнения, орган по сертификации вправе затребовать необходимые дополнительные данные или инициировать официальную программу контрольной проверки АТС. Для этого органу по сертификации передаются минимум три транспортных средства для соответствующих испытаний. При необходимости выборка может быть увеличена.

АТС должно иметь пробег не менее 15000 км или находиться в эксплуатации не менее шести месяцев в зависимости от того, какое из этих условий будет выполнено позже, причём пробег не должен превышать 100000 км или АТС должно находиться в эксплуатации не более пяти лет в зависимости от того, какое из этих условий будет выполнено раньше.

Должен вестись учёт технического обслуживания АТС.

На АТС не должно быть никаких следов непредусмотренной эксплуатации (например, использования на гонках, с перегрузкой, с заправкой топливом непредусмотренного вида или других злоупотреблений) либо других характерных признаков, которые могут повлиять на объём выбросов.

В случае АТС, оснащённых БДС, учитываются результаты регистрации кодов неисправностей и данные о пробеге, введённые в память ЭБУД.

Процедура проверки эксплуатационного соответствия заключается в проведении испытания Типа I и/или Типа II.

Если установлено, что два или более АТС являются источником выбросов ЗВ, превышающих установленные предельные значения, изготовитель должен представить план мер по исправлению ситуации с целью устранения проблемы. Меры по исправлению ситуации принимаются в отношении всех АТС, которые могут иметь одну и ту же неисправность. Изготовитель обязуется представить информацию о проблеме владельцам АТС. Изготовитель отвечает за регистрацию каждого отозванного и отремонтированного транспортного средства, а также мастерской, в которой проводился такой ремонт.

2.2.5.8.2. Проверка эксплуатационного соответствия АТС согласно ЕВРО-6

Начиная с Пересмотра №7 соответствие находящихся в эксплуатации АТС подтверждается посредством проведения испытаний транспортных средств на дороге, в обычных режимах управления, условиях и нагрузке (англ. *Real Driving Emissions, RDE*).

Данный тип испытаний направлен на выявление возможных деактивирующих стратегий, применяемых недобросовестными производителями для отключения или перенастройки системы снижения токсичности ДВС после прохождения сертификационных испытаний.

В частности, деактивирующие стратегии могут предусматривать особую настройку ЭБУД и ССТД для максимального подавления выбросов ЗВ при сертификации АТС, а при движении АТС по дороге в режиме обычной эксплуатации настройки автоматически изменяются с целью обеспечения более высоких мощностных или экономических показателей.

Использование в системах двигателя и на транспортных средствах деактивирующих стратегий не допускается. Поэтому была разработана данная испытательная процедура.

Процедура испытаний описана в главе 2.2.4.4.2.

2.2.5.9. Проверка соответствия производства

Для проверки соответствия производства в обязательном порядке проводится достаточное количество выборочных испытаний новых обкатанных АТС серийного производства. После отбора АТС никакая регулировка на них не допускается.

В Поправках серии № 03 к Правилам введено положение, согласно которому нормы на соответствие производства приравниваются нормам для сертификации АТС.

Кроме того, в этих поправках определяется новый статистический метод интерпретации результатов испытаний. Устанавливается процедура отбора с тем, чтобы в том случае, если доля дефектных АТС составляет 40%, вероятность прохождения испытания той или иной партии равнялась 0,95 (риск изготовителя = 5%), а если доля дефектных АТС составляет 65%, вероятность принятия данной серии равнялась бы 0,1 (риск потребителя = 10%).

2.2.6. Правила ЕЭК ООН №103 (сменные нейтрализаторы и фильтры для лёгких АТС)

Правила № 103 применяют для официального утверждения сменных устройств для предотвращения загрязнения (например, каталитических нейтрализаторов и/или фильтров), предназначенных для установки в качестве сменных частей на АТС категорий, охватываемых областью применения Правил № 83.

Сменное устройство для предотвращения загрязнения (СУПЗ) должно быть спроектировано, изготовлено и приспособлено для установки таким образом, чтобы АТС в нормальных условиях эксплуатации соответствовало положениям тех Правил, требованиям которых оно первоначально соответствовало.

Официальное утверждение СУПЗ включает проверку в отношении:

- выбросов загрязняющих веществ;
- уровня шума;
- воздействия на эксплуатационные качества АТС;
- воздействия на бортовую диагностическую систему (БДС).

2.2.6.1. Требования к выбросам загрязняющих веществ

АТС, оснащённое СУПЗ, подвергают испытанию Типа I по Правилам № 83, с целью сопоставления его эксплуатационных качеств с **оригинальным устройством для предотвращения загрязнения (ОУПЗ)** согласно процедуре, описанной ниже.

1) **Определение основы для сопоставления:** АТС оснащают новым ОУПЗ, которое подвергают обкатке и кондиционированию при температуре окружающего воздуха 293...303 К (20...30 °С). Затем проводят три испытания Типа I.

2) **Испытание на токсичность ОГ с использованием СУПЗ:** ОУПЗ заменяют на СУПЗ, после чего АТС подвергают обкатке и кондиционированию при температуре окружающего воздуха 293...303 К (20...30 °С). Затем проводят три испытания Типа I.

3) **Оценка выбросов ЗВ АТС, оснащённого СУПЗ:** требования к выбросам считают выполненными, если для каждого контролируемого загрязняющего вещества (СО, НС, NO_x, ДЧ) результаты соответствуют следующим условиям:

$$M \leq 0,85 \cdot S + 0,4 \cdot G;$$

$$M \leq G,$$
(46)

где M – среднее значение выбросов ЗВ, полученное в результате трёх испытаний Типа I с использованием СУПЗ;
 S – среднее значение выбросов ЗВ, полученное в результате трёх испытаний Типа I с использованием ОУПЗ;
 G – предельное значение выбросов ЗВ в соответствии с официальным утверждением типа АТС.

2.2.6.2. Требования к шуму АТС

СУПЗ должно соответствовать требованиям Правил № 59. Вместо измерения противодавления, указанного в Правилах № 59, может осуществляться измерение максимальной мощности ДВС. Значение мощности, установленное согласно Правил № 85 на СУПЗ, не должно быть более чем на 5% ниже значения, установленного на ОУПЗ.

2.2.6.3. Требования к эксплуатационным качествам АТС

СУПЗ должно соответствовать требованиям испытания Типа V по Правилам № 83.

2.2.6.4. Требования к совместимости СУПЗ с бортовой диагностической системой

Совместимость СУПЗ с БДС должна быть продемонстрирована на основе использования процедур Типа VII, описанных в Правилах № 83.

2.2.7. Правила ЕЭК ООН №132 (сменные/ретрофитные нейтрализаторы и фильтры для ДВСВС большегрузных АТС)

Правила № 132 предусматривают метод классификации, оценки и официального утверждения модифицированных устройств ограничения выбросов ЗВ, устанавливаемых на АТС категорий М2, М3 и N1 и их двигателях с воспламенением от сжатия.

Под **модифицированным устройством ограничения выбросов (МУОВ)** понимают любую систему ограничения выбросов ЗВ, используемую для целей модернизации ДВСВС. К МУОВ относятся любые датчики и программное обеспечение, необходимые для его

работы. Системы, которые только модифицируют существующую систему управления двигателем, не считаются МУОВ.

МУОВ двигателей не должны приводить к превышению предельных значений выбросов соответствующих ЗВ, указанных в Правилах № 49, согласно которым исходный двигатель был официально утверждён.

МУОВ ЗВ подразделяются на четыре класса:

1) предназначенные только для ограничения выбросов ДЧ и не приводящие к увеличению уровня выбросов NO_2 на 20...30% по сравнению с уровнем, зарегистрированным до установки МУОВ;

2) предназначенные только для ограничения выбросов ДЧ и не приводящие к увеличению уровня выбросов NO_2 более чем на заданную величину;

3) предназначенные только для ограничения выбросов NO_x ;

4) предназначенные для ограничения выбросов как ДЧ, так и NO_x .

Уровень снижения выбросов той или иной системой МУОВ характеризуется эффективностью их снижения, которая должна быть:

- для дисперсных частиц – не менее 90% относительно исходного уровня выбросов;
- для NO_x – не менее 60% относительно исходного уровня выбросов.

Эффективность снижения определяют посредством сопоставления уровней выбросов, измеренных на основе средневзвешенных результатов при использовании испытательной процедуры WHTC по Правилам № 49.

Эффективность снижения рассчитывают на основе данных, полученных при измерении выбросов соответствующего загрязняющего вещества на выходе из МУОВ (E_{REC}) и выбросов того же загрязняющего вещества из двигателя, измеренных до установки МУОВ (E_{Base}):

- эффективность снижения (в %) = $(1 - (E_{\text{REC}} / E_{\text{Base}})) \cdot 100$.

Изготовитель МУОВ представляет документальное подтверждение того, что материалы и процессы, используемые в МУОВ, не представляют никакой дополнительной опасности¹ для окружающей среды и здоровья населения.

¹ В частности, концентрация аммиака не должна превышать 25 млн^{-1} на выходе из МУОВ.

МУОВ при использовании и техническом обслуживании в соответствии с инструкциями изготовителя должна соответствовать вышеуказанным требованиям в процессе её нормальной работы в течение срока эксплуатации, составляющего 200000 км пробега или 6 лет эксплуатации в зависимости от того, какой из этих показателей достигается раньше.

МУОВ не должно снижать эффективность любой бортовой диагностической системы (БДС) оригинального двигателя.

МУОВ в соответствии с переданными инструкциями по монтажу не должно приводить к увеличению шума, производимого АТС.

Процедуры контроля за соответствием производства МУОВ должны соответствовать процедурам, изложенным в Правилах №49.

2.3. Акустическое (шумовое) излучение

2.3.1. Общие условия проведения акустических измерений

2.3.1.1. Испытательная площадка для измерения шума движущегося АТС

Испытательная площадка должна состоять из центральной части для разгона, вокруг которой поверхность должна быть практически горизонтальной. Испытательный участок должен быть горизонтальным; поверхность участка должна быть сухой и должна быть спроектирована таким образом, чтобы уровень звука от качения шин оставался низким¹.

На испытательной дорожке проводятся две линии AA' и BB', параллельные линии PP' и расположенные соответственно в 10 м спереди и позади этой линии (рис. 23).

¹ ГОСТ ISO 10844-2017 Акустика. Требования к испытательным трекам для измерения шума, излучаемого дорожными транспортными средствами и их шинами. Считается, что покрытие соответствует этому стандарту, если глубина текстуры и пористость или коэффициент звукопоглощения были измерены и признаны отвечающими всем требованиям и если были выполнены все требования в отношении состава асфальтобетонной смеси.

Микрофоны находятся на линии PP' , перпендикулярной осевой линии CC' , проходящей по испытательному треку, на расстоянии $7,5 \pm 0,05$ м от линии CC' .

Микрофоны находятся на высоте $1,2 \pm 0,02$ м от поверхности. Исходная ось микрофона должна быть горизонтальной и перпендикулярной линии CC' .

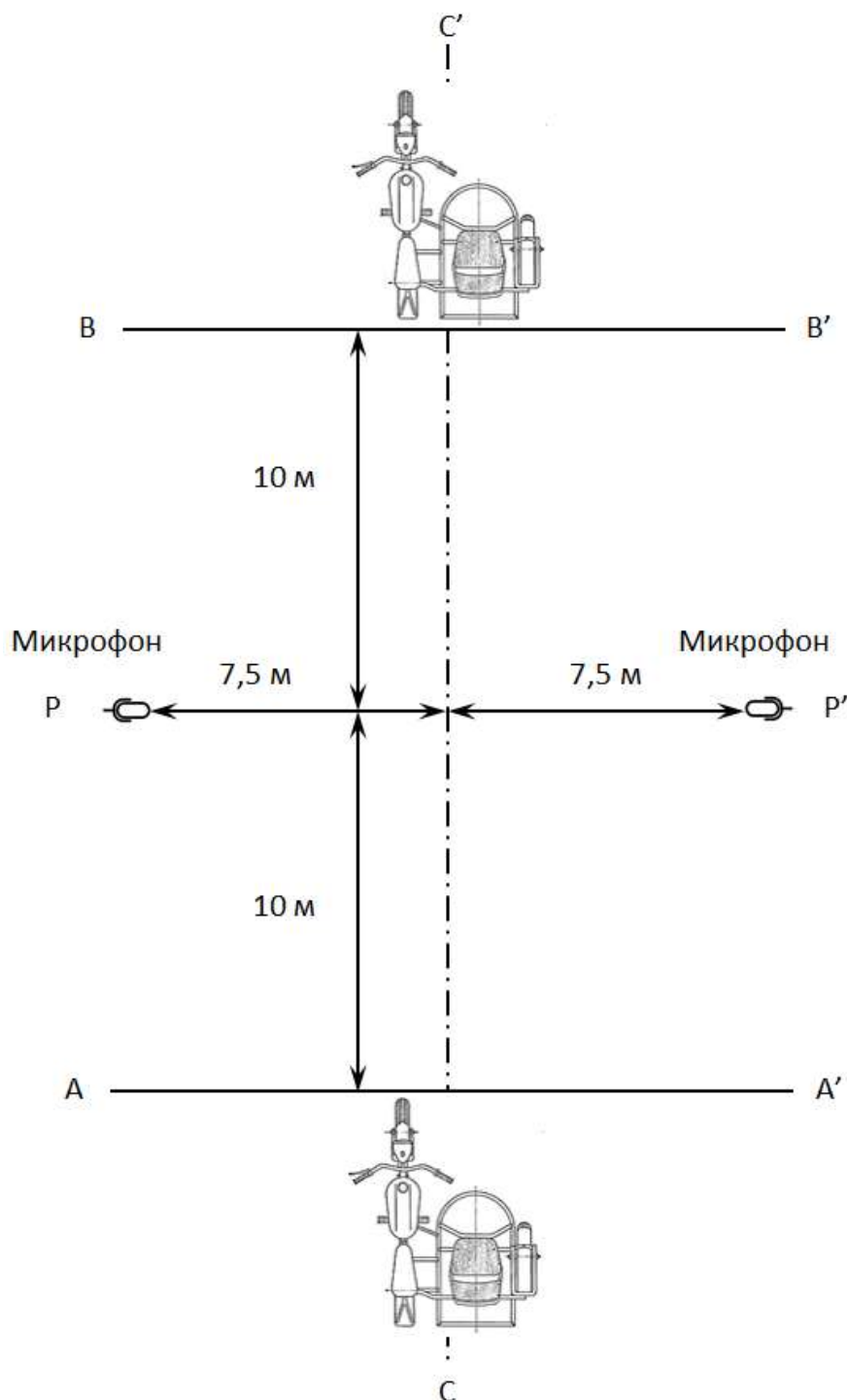


Рис. 23. Схема площадки для измерения шума движущегося АТС

На испытательной площадке на расстоянии 50 м от центра участка разгона не должно быть таких крупных звукоотражающих объектов, как заборы, камни, мосты или здания (рис. 24).

Вблизи микрофона и источника звука не должно быть никаких преград, которые могли бы оказать воздействие на звуковое поле, и в пространстве между микрофоном и источником звука не должно никого находиться. Наблюдатель, проводящий измерения, должен находиться в таком месте, где он не оказывал бы воздействия на показания измерительных приборов.

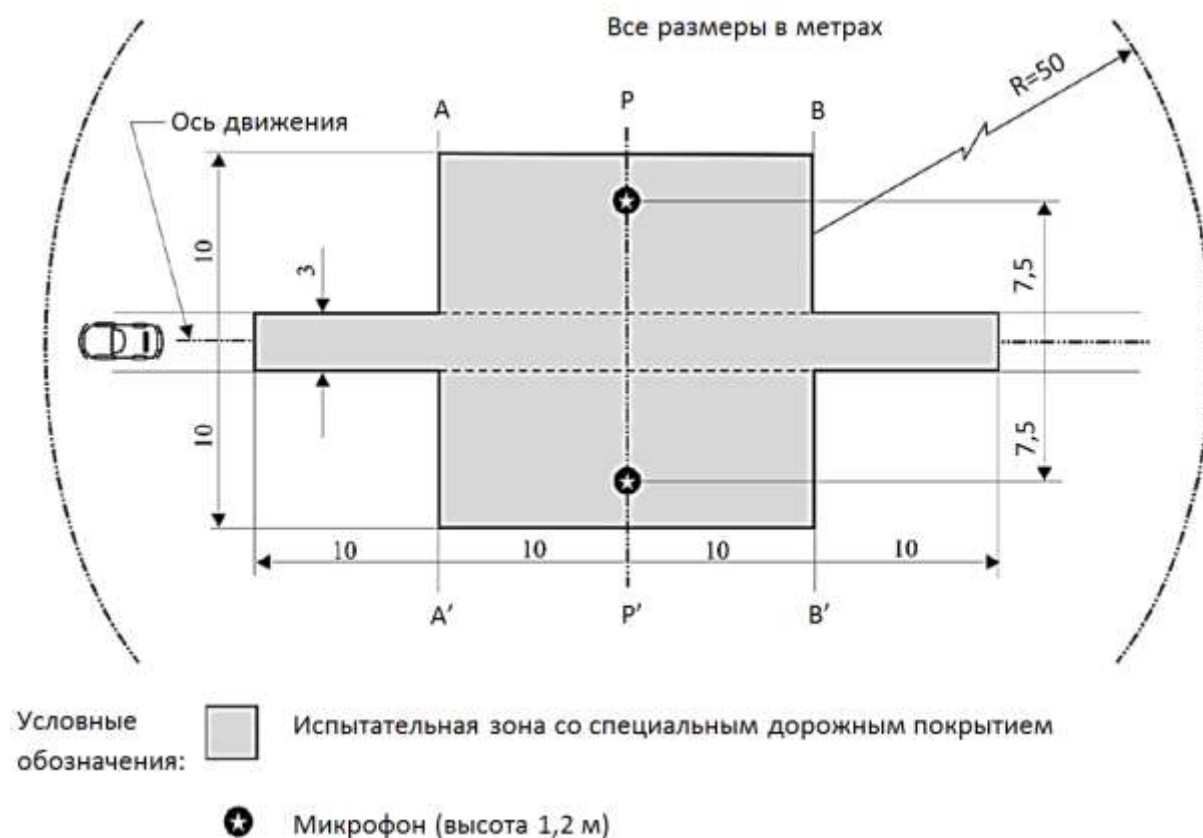


Рис. 24. Схема испытательной площадки для измерения шума АТС

2.3.1.2. Испытательная площадка в закрытом помещении для измерения шума АТС

Требования к испытательной площадке в закрытом помещении установлены в стандарте ISO 362-3:2016¹.

¹ ISO 362-3:2016 Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles. – Engineering method. – Part 3: Indoor testing M and N categories.

Испытательная установка должна соответствовать требованиям стандарта ISO 26101:2017¹.

В случае испытания в закрытом помещении при учёте фонового шума во внимание следует принимать шум от роликов динамометрического стенда, систем вентиляции и систем отвода отработавших газов на объекте.

Необходимо предоставить результаты испытаний, проведённых на репрезентативной части отобранной изготовителем продукции, для доказательства того, что результаты испытаний в закрытом помещении сопоставимы с результатами испытаний на открытом воздухе в приемлемых пределах точности.

2.3.1.3. Испытательная площадка для измерения шума неподвижного АТС

В качестве испытательной площадки может использоваться любая площадка, не подверженная значительным звуковым возмущениям. Пригодны ровные площадки, покрытые бетоном, асфальтом или любым другим твёрдым материалом и обладающие высокими звукоотражающими характеристиками; поверхности из утрамбованного грунта не используются.

По своим размерам испытательная площадка должна представлять собой как минимум прямоугольник, стороны которого должны находиться на расстоянии 3 м от габаритов транспортного средства (без учёта руля). В пределах этого прямоугольника не должно находиться никаких значительных препятствий.

Транспортное средство размещается в пределах вышеупомянутого прямоугольника таким образом, чтобы используемый для измерения микрофон находился на расстоянии не менее одного метра от любого каменного выступа.

2.3.1.4. Метеопараметры

Измерения не должны проводиться при плохих погодных условиях.

Измерения производятся при температуре наружного воздуха в диапазоне от +5 °С до +45 °С.

¹ ISO 26101:2017 Acoustics. – Test methods for the qualification of free-field environments.

Испытания не проводятся, если скорость ветра, включая его порывы на высоте микрофона, превышает 5 м/с во время измерения уровня звука.

Уровень звука, взвешенный по шкале (А), от источников, не являющихся испытываемым транспортным средством, и уровень звука от воздействия ветра должны быть по крайней мере на 10 дБ(А) ниже уровня звука, производимого транспортным средством. Микрофон может быть оснащён соответствующим ветрозащитным экраном при условии, что учитывается его воздействие на чувствительность и характеристики направленности микрофона.

Измерения температуры воздуха и испытательного покрытия являются обязательными. Датчик температуры воздуха располагают в свободном месте вблизи микрофона и устанавливают таким образом, чтобы он мог воспринимать потоки воздуха, но был защищён от прямого солнечного излучения.

Датчик температуры поверхности испытательной площадки располагают в месте, где измеряемая температура является репрезентативной для температуры следов колёс АТС и где он не создаёт помех для измерений звука.

Если в контакте с датчиком температуры используют какое-либо приспособление, надёжный тепловой контакт между поверхностью и датчиком получают с помощью теплопроводящей пасты.

Если применяют радиационный термометр (пирометр), то высоту его установки выбирают так, чтобы получить пятно измерения диаметром $\geq 0,1$ м.

Прибор измерения скорости ветра должен обеспечивать результаты измерений скорости ветра с погрешностью ± 1 м/с. Измерение скорости ветра проводят на высоте микрофона. Регистрируют направление ветра относительно направления движения транспортного средства.

2.3.1.5. Учёт фонового уровня шума

Фоновый шум измеряется в течение 10 с сразу же после проведения серии испытаний АТС и перед её проведением. Измерения производятся с помощью тех же микрофонов и в тех же местах установки микрофонов, которые использовались в ходе испытания.

Если разница между внешними и измеряемыми уровнями шума составляет 10...15 дБ(А), то для расчёта результатов испытания из показаний шумомера вычитается один из коррективов, указанных в табл. 8.

Таблица 8

Корректив, применяемый к измеренному значению уровня звука, полученному в ходе испытания

Разница между уровнем фонового уровня звука и измеренным уровнем звука, дБ(А)	10	11	12	13	14	≥15
Корректив, дБ(А)	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0

2.3.1.6. Требования к глушителям, содержащим волокнистые звукопоглощающие материалы

Волокнистый звукопоглощающий материал не должен содержать асбеста и может использоваться в конструкции глушителей только при наличии надлежащих устройств, обеспечивающих удерживание волокнистого звукопоглощающего материала на месте в течение всего срока эксплуатации глушителя.

Отработавшие газы не должны вступать в контакт с волокнистыми материалами, а волокнистые материалы не должны реагировать на изменения давления.

Эти требования подтверждаются посредством серии эксплуатационных и лабораторных испытаний.

2.3.2. Правила ЕЭК ООН №9 (шум трёхколёсных мопедов и мотоциклов)

В Правилах ЕЭК ООН №9 оговорены предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий L2, L4 и L5 в связи с производимым ими шумом.

Измерение шума АТС проводится двумя методами:

- в движении;

- в неподвижном состоянии¹.

В случае АТС, у которого в неподвижном состоянии ДВС не может работать, производимый им шум измеряется только в движении.

2.3.2.1. Метод измерения шума в движении

Измерения производятся на транспортных средствах с испытательной массой, определяемой как сумма собственной массы АТС и массы 80 кг, которая соответствует массе водителя и приборов.

В начале и конце каждой серии измерений измерительная система проверяется при помощи устройства калибровки звука, удовлетворяющего требованиям, предъявляемым к устройствам калибровки звука первого класса точности.

Транспортное средство приближается к линии AA' на постоянной скорости, соответствующей либо частоте вращения двигателя, равной $\frac{3}{4}$ номинальной частоты вращения², либо 50 км/ч, причём выбирается более низкая из перечисленных. В этот момент «полностью и как можно скорее» открывается дроссельная заслонка, которая остаётся в таком положении до тех пор, пока задняя часть транспортного средства не пересечёт линию BB', после чего она как можно скорее закрывается.

Максимальный уровень звука, взвешенный по шкале А и выраженный в децибелах дБ(А), измеряется во время движения транспортного средства между линиями AA' и BB'. С каждой стороны транспортного средства производится по крайней мере два измерения. Величины уровня звука округляются до ближайшего целого.

Учитываются только те значения, которые были получены в результате двух последовательных измерений с одной и той же стороны АТС и расхождение между которыми не превышает 2 дБ(А). Окончательным результатом считается среднее значение всех четырёх измерений.

Для гибридных АТС испытания проводят дважды при соблюдении следующих условий:

¹ Испытание АТС в неподвижном состоянии проводят для установления контрольного значения, необходимого для контроля АТС, находящихся в эксплуатации.

² Как правило, при этом должна быть включена третья передача.

а) **условие А:** аккумуляторы должны иметь максимальный уровень заряда (**гибридный режим с преимущественным потреблением электроэнергии**);

б) **условие В:** аккумуляторы должны иметь минимальный уровень заряда (**гибридный режим с преимущественным потреблением топлива**).

За окончательный результат принимают **наивысший** показатель среди результатов испытаний при условиях А и В.

Уровень звука, производимый АТС, находящимся в движении, не должен превышать

- 80 дБ(А) для категорий L4 и L5;
- 76 дБ(А) для категории L2.

2.3.2.2. Метод измерения шума в неподвижном состоянии

До начала измерений двигатель транспортного средства доводится до своей обычной рабочей температуры.

Во время измерения рычаг переключения коробки передач должен находиться в нейтральном положении.

Уровень звука, выраженный в дБ(А), измеряется вблизи среза выхлопной трубы. В каждой точке измерения производится по крайней мере три измерения. Измерения считаются действительными только в том случае, если расхождение между результатами трёх последовательных измерений не превышает 2 дБ(А).

Микрофон должен располагаться на расстоянии $0,5 \pm 0,01$ м от исходной точки выпускной трубы, обозначенной на рис. 25, под углом в $45^\circ \pm 5^\circ$ к вертикальной плоскости, через которую проходит ось потока газа из среза трубы. Микрофон должен находиться на высоте исходной точки, но не ниже 0,2 м над уровнем площадки. Исходная ось микрофона должна находиться в плоскости, параллельной поверхности площадки, и направлена к исходной точке среза выпускной трубы (см. рис. 26).

Если АТС имеет более двух срезов выпускных труб, расстояние между которыми составляет менее 0,3 м и которые подсоединены к одному и тому же глушителю, то производится только одно измерение. Положение микрофона определяется по отношению к тому срезу, который наиболее удалён от продольной оси АТС или который находится выше над поверхностью площадки.

В случае АТС, в которых срезы выпускных труб находятся на расстоянии более 0,3 м друг от друга, должно производиться одно измерение по каждому срезу, как если бы он был единственным, причём регистрируется наиболее высокий уровень шума.

Если возможны два места установки микрофона, то должно использоваться то из них, которое соответствует наибольшему боковому удалению от продольной оси АТС.

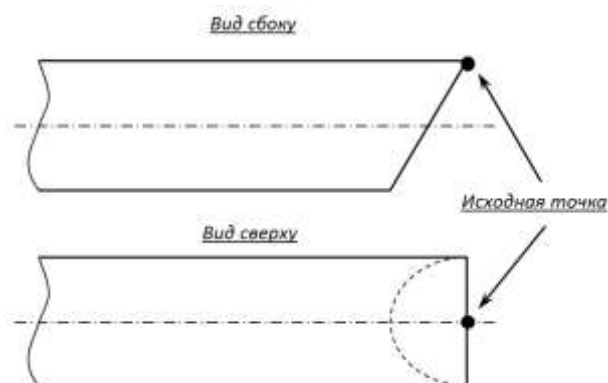


Рис. 25. Расположение исходной точки на выхлопной трубе

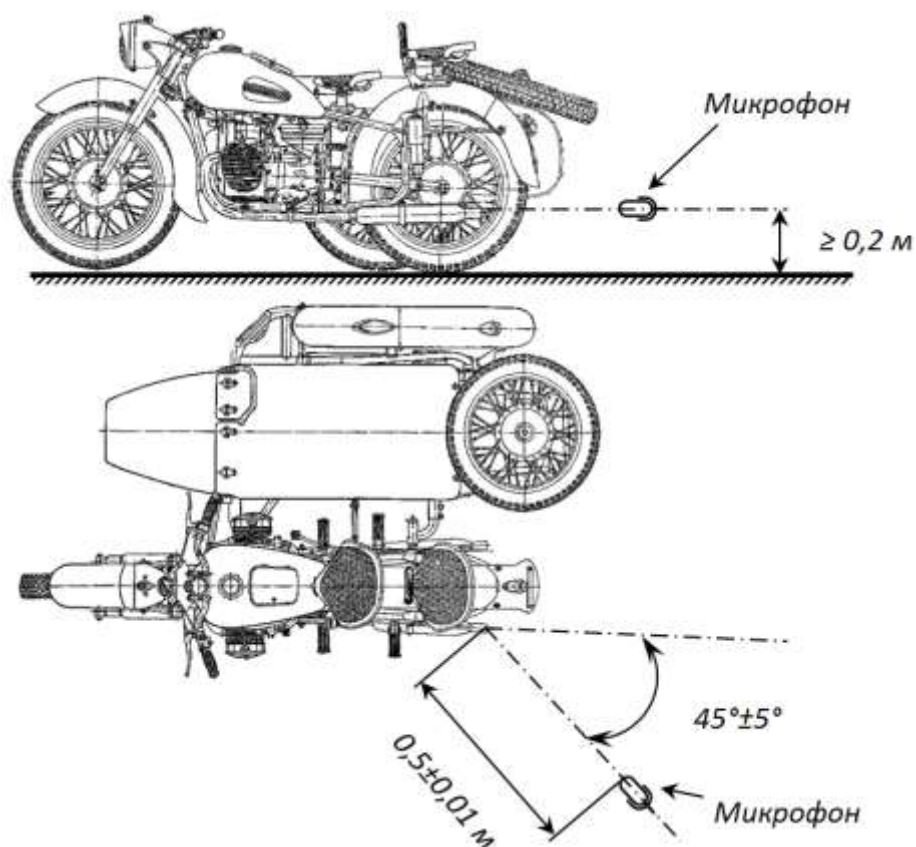


Рис. 26. Положения микрофона для испытания неподвижного АТС

Определяется **целевая частота вращения ДВС**, которая должна соответствовать одному из следующих значений:

- $1/2 n_N$, если n_N превышает 5000 мин^{-1} ,
- $3/4 n_N$, если n_N не превышает 5000 мин^{-1} ,

где n_N – номинальная частота вращения ДВС, при которой двигатель развивает максимальную мощность.

Частота вращения ДВС постоянно увеличивается от минимальной частоты вращения на холостом ходу до целевой частоты вращения и удерживается в постоянном режиме. Затем дроссельная заслонка быстро закрывается, и частота вращения двигателя должна вернуться к минимальному значению на холостом ходу. Уровень звука измеряется в период функционирования при поддержании постоянной целевой частоты вращения двигателя в течение не менее 1 с и в течение всего периода замедления, причём результатом измерения считается величина, соответствующая максимальному показанию шумомера. Результат регистрируется с округлением до первого знака после запятой.

Испытание продолжается до тех пор, пока не будут получены три последовательных результата измерений с разбросом друг от друга не более 2,0 дБ(А) на срезе каждого из выпускных отверстий. Результатом для каждого из выпускных отверстий является среднее арифметическое значение трёх действительных измерений.

2.3.2.3. Соответствие производства

Для проверки соответствия производства, из серии выбирается одно АТС. Соответствие производства считается обеспеченным, если уровни шума в движении превышают не более чем на 1 дБ(А) пределы, предписанные выше.

2.3.3. Правила ЕЭК ООН №41 (шум мотоциклов)

Правила ЕЭК ООН №41 применяются к транспортным средствам категории L_3 в отношении шума.

Измерение шума АТС проводится двумя методами:

- в движении (испытание с ускорением при полностью открытой дроссельной заслонке и испытание с постоянной скоростью);

- в неподвижном состоянии¹.

В случае АТС, у которого в неподвижном состоянии ДВС не работает, производимый им шум измеряется только в движении.

Испытания для транспортных средств различаются в зависимости от **коэффициента соотношения мощности двигателя и массы (УММ)**, который определяется по формуле

$$\text{УММ} = \frac{1000 \cdot P_N}{m_s + 75}, \quad (47)$$

где P_N – номинальная мощность двигателя, кВт;

m_s – собственная масса АТС, кг.

2.3.3.1. Методы измерения шума в движении

Испытание АТС по измерению шума в движении состоит из трёх этапов:

- движение с ускорением при полностью открытой дроссельной заслонке;
- движение с постоянной скоростью (только для АТС с УММ ≥ 25);
- расчёт взвешенной (т.н. «городской») комбинации результатов двух предыдущих этапов (только для АТС с УММ ≥ 25).

Процедура испытания АТС в движении **с ускорением** при полностью открытой дроссельной заслонке аналогична процедуре Правил №9, рассмотренной в главе 2.3.2.1, за исключением следующих особенностей:

- испытательная скорость составляет 40 ± 1 км/ч для АТС с УММ ≤ 50 и 50 ± 1 км/ч для АТС с УММ > 50 ;
- выбранная передача должна быть самой низкой, при которой в ходе испытания не происходит превышения номинальной частоты вращения двигателя при пересечении линии ВВ', а скорость АТС не превышает 75% от максимальной;
- с каждой стороны АТС производится по меньшей мере три измерения.

¹ Испытание АТС в неподвижном состоянии проводят для установления контрольного значения, необходимого для контроля АТС, находящихся в эксплуатации.

Конечным результатом испытания является среднее арифметическое шести измеренных значений уровня звука L_{wot} , дБ(А).

Процедура испытания АТС **в движении с постоянной скоростью** заключается в том, что механизм управления подачей топлива должен находиться в положении, обеспечивающем постоянную испытательную скорость АТС при движении на той же передаче, которая использовалась для ускорения, в промежутке между линиями AA' и BB'.

Конечным результатом испытания является среднее арифметическое шести измеренных значений уровня звука L_{crs} , дБ(А), округлённое до десятой.

Расчёт уровня звука L_{urban} , дБ(А), соответствующего режиму эксплуатации **в среднегородских условиях**, производится по формуле

$$L_{urban} = L_{wot} - k_p \cdot (L_{wot} - L_{crs}), \quad (48)$$

где k_p – коэффициент частичной мощности;

L_{wot} – уровень звука при разгоне с полностью открытой дроссельной заслонкой дБ(А);

L_{crs} – уровень звука при постоянной скорости, дБ(А).

Коэффициент частичной мощности определяется по формуле

$$k_p = 1 - \frac{a_{urban}}{a_{wot}}, \quad (49)$$

где a_{urban} – расчётное ускорение, типичное для езды в городских условиях, м/с²;

$a_{urban} = 1,37 \cdot \log(\text{УММ}) - 1,08$ для АТС с УММ ≤ 50 ;

$a_{urban} = 1,28 \cdot \log(\text{УММ}) - 1,19$ для АТС с УММ > 50 .

a_{wot} – расчётное ускорение при разгоне с полностью открытой дроссельной заслонкой, м/с²;

$a_{wot} = 2,47 \cdot \log(\text{УММ}) - 2,52$ для АТС с УММ ≤ 50 ;

$a_{wot} = 3,33 \cdot \log(\text{УММ}) - 4,16$ для АТС с УММ > 50 .

Предельно допустимые уровни шума представлены в табл. 9.

Таблица 9

Предельные уровни шума для АТС категории L_3

Категория	Удельная мощность на единицу массы (УММ)	Предельное значение для L_{urban} в дБ(А)
Первая категория	УММ ≤ 25	73
Вторая категория	25 < УММ ≤ 50	74
Третья категория	УММ > 50	77

2.3.3.2. Метод измерения шума в неподвижном состоянии

Процедура испытания АТС в неподвижном состоянии аналогична процедуре Правил №9, рассмотренной в главе 2.3.2.2.

2.3.3.3. Соответствие производства

Для проверки соответствия производства из серии транспортных средств выбирается одно АТС. Соответствие производства считается обеспеченным, если уровни шума в движении превышают не более чем на 1 дБ(А) пределы, предписанные выше.

2.3.4. Правила ЕЭК ООН №51 (шум автомобилей)

Правила ЕЭК ООН №51 содержат предписания, касающиеся шума, излучаемого АТС категорий М и N.

Технические требования, приведённые в данных Правилах, имеют целью воспроизвести уровни звука, издаваемого ТС в нормальных условиях городского движения.

Измерение звука проводят для:

- АТС, находящегося в движении;
- АТС, находящегося в неподвижном состоянии¹.

АТС полной массой свыше 2800 кг дополнительно подвергают испытанию на измерение уровня шума, производимого сжатым воздухом привода тормозной системы, в неподвижном состоянии, если соответствующее тормозное оборудование является частью АТС.

Звук, издаваемый АТС, измеряют на открытом воздухе или в закрытом помещении. Результаты испытаний на открытом воздухе и в закрытом помещении считаются эквивалентными.

При испытании в закрытом помещении звук, издаваемый АТС, имитируют путём измерения звука, издаваемого силовой установкой на динамометрическом стенде, и энергетической суммы уровней звука, возникающего в результате трения между шиной и дорожной поверхностью (измеряется отдельно на испытательном треке на открытом воздухе).

¹ Испытание АТС в неподвижном состоянии проводят для установления контрольного значения для АТС, находящихся в эксплуатации.

Измерения проводят на АТС, имеющих испытательную массу (m_t), которая определяется следующим образом:

- для АТС категорий М1, N1 и М2 (полной массой ≤ 3500 кг) – $0,9 \cdot m_{го} \leq m_t \leq 1,2 \cdot m_{го}$, где $m_{го}$ – снаряжённая масса АТС;
- для АТС категорий N2 и N3 – $m_t = 50$ [кг/кВт] $\times P_n$ [кВт] $\pm 5\%$, где P_n – номинальная мощность ДВС;
- для АТС категорий М2 (полной массой > 3500 кг) и М3 – $0,9 \cdot m_{го} \leq m_t \leq 1,1 \cdot m_{го}$, где $m_{го}$ – снаряжённая масса АТС.

Удельная мощность на единицу массы (УММ) определяется следующим образом:

$$\text{УММ} = P_n / m_t \cdot 1000, \text{ кг/кВт, где } P_n \text{ измеряют в кВт, а } m_t \text{ – в кг.}$$

Безразмерную величину УММ используют для расчёта ускорения АТС. Расчёты ускорения производят только в отношении АТС категорий М1 и N1, а также АТС категории М2 полной массой ≤ 3500 кг.

2.3.4.1. Методы измерения шума в движении

Испытание АТС по измерению шума в движении состоит из трёх этапов:

- движение с ускорением при полностью открытой дроссельной заслонке;
- движение с постоянной скоростью;
- расчёт взвешенной (т.н. «городской») комбинации результатов двух предыдущих этапов.

Процедура испытания АТС **в движении с ускорением** при полностью открытой дроссельной заслонке аналогична процедуре Правил №9, рассмотренной в главе 2.3.2.1, за исключением следующих особенностей:

- испытательная скорость составляет 50 ± 1 км/ч;
- выбор передаточных чисел для испытания зависит от обуславливаемого ими конкретного потенциального ускорения a_{wot} при разгоне с полностью открытой дроссельной заслонкой, которое должно быть как можно ближе к заданному ускорению a_{wotref} (но не более $2,0 \text{ м/с}^2$);
- момент прохождения АТС мимо линий разметки фиксируют относительно контрольной точки, расположение которой на АТС зависит от его категории и размещения ДВС;

- с каждой стороны АТС производится по меньшей мере четыре измерения уровня звука.

Заданное ускорение a_{wotref} зависит от значения УММ АТС и определяется по следующим формулам:

$$\begin{aligned} a_{\text{wotref}} &= 1,59 * \log_{10}(\text{УММ}) - 1,41, \text{ для } \text{УММ} \geq 25, \\ a_{\text{wotref}} &= a_{\text{urban}} = 0,63 * \log_{10}(\text{УММ}) - 0,09, \text{ для } \text{УММ} < 25. \end{aligned} \quad (50)$$

Контрольная точка в случае АТС категорий М1 и N1, а также АТС категории М2 полной массой не более 3500 кг означает одну из следующих точек:

- а) для АТС с передним расположением ДВС – передний край АТС,
- б) для АТС с расположением двигателя посередине – центр АТС,
- в) для АТС с задним расположением двигателя – задний край АТС.

Контрольная точка в случае АТС категорий М3, N2 и N3, а также АТС категории М2 полной массой свыше 3500 кг означает одну из следующих точек:

- а) для АТС с передним расположением ДВС – передний край АТС;
- б) для всех других АТС – крайняя часть двигателя, расположенная ближе всего к переднему краю АТС.

С каждой стороны АТС проводят по крайней мере четыре измерения. Измерения с левой и с правой сторон можно проводить либо одновременно, либо последовательно. Для расчёта окончательного результата по каждой стороне АТС используют первые четыре зачётных результата последовательных измерений в пределах 2 дБ(А). Результаты уровня звука L_{wot} , дБ(А), полученные по каждой стороне, усредняют отдельно. Все дальнейшие расчёты для получения L_{urban} производят отдельно по левой и правой сторонам АТС. Окончательным значением L_{urban} , принимаемым в качестве результата испытания, математически округлённого до ближайшего целого числа, является наибольшее значение из двух сторон.

Процедура испытания АТС **в движении с постоянной скоростью** заключается в том, что механизм управления подачей топлива должен находиться в положении, обеспечивающем постоянную испытательную скорость АТС при движении на той же передаче, которая использовалась для ускорения, в промежутке между линиями AA' и BB'.

Конечным результатом испытания является среднее арифметическое восьми измеренных значений уровня звука L_{crs} , дБ(А).

Расчёт уровня звука L_{urban} , дБ(А), соответствующего режиму эксплуатации в **среднегородских условиях**, производится по формуле (48). При этом коэффициент частичной мощности определяется по формуле

$$k_p = 1 - \frac{a_{urban}}{a_{wotref}}. \quad (51)$$

Рассчитанный по результатам испытаний уровень звука L_{urban} , дБ(А), соответствующий режиму эксплуатации в **среднегородских условиях**, не должен превышать предельных значений, представленных в табл. 10.

Таблица 10

Предельные значения уровня звука для АТС категорий М и N

Категория АТС	АТС, используемые для перевозки пассажиров	Предельные значения (дБ(А))		
		Этап 1	Этап 2	Этап 3
М1	УММ ≤ 120	72	70	68
	120 < УММ ≤ 160	73	71	69
	УММ > 160	75	73	71
	УММ > 200, число мест ≤ 4, высота расположения точки R над уровнем дороги (R < 450 мм)	75	74	72
М2	М ≤ 2,5 т	72	70	69
	2,5 т < М ≤ 3,5 т	74	72	71
	М > 3,5 т; P _n ≤ 135 кВт	75	73	72
	М > 3,5 т; P _n > 135 кВт	75	74	71
М3	P _n ≤ 150 кВт	76	74	73
	150 кВт < P _n ≤ 250 кВт	78	77	76
	P _n > 250 кВт	80	78	77
Категория АТС	АТС, используемые для перевозки грузов	Этап 1	Этап 2	Этап 3
N1	М ≤ 2,5 т	72	71	69
	М > 2,5 т	74	73	71
N2	P _n ≤ 135 кВт	77	75	74
	P _n > 135 кВт	78	76	75
N3	P _n ≤ 150 кВт	79	77	76
	150 кВт < P _n ≤ 250 кВт	81	79	77
	P _n > 250 кВт	82	81	79

Примечание: УММ – показатель удельной мощности на единицу массы; М – полная масса АТС; P_n – номинальная мощность двигателя.

Для АТС, предназначенных для эксплуатации вне дорог, предельные значения увеличивают на 2 дБ(А) в случае АТС категорий М3 и N3 и на 1 дБ(А) в случае любой другой категории АТС.

Предельные значения увеличивают на 2 дБ(А) для АТС категории М1, которые специально сконструированы или модифицированы таким образом, что в них может находиться одно или более лиц, сидящих в инвалидных колясках, и для бронированных АТС.

Для АТС категории М3, оснащённых только бензиновым двигателем, применимое предельное значение увеличивают на 2 дБ(А).

2.3.4.2. Метод измерения шума в неподвижном состоянии

Процедура испытания АТС в неподвижном состоянии аналогична процедуре Правил №9, рассмотренной в главе 2.3.2.2, за исключением того, что целевая частота вращения ДВС составляет:

- $1/2 n_N$, если $n_N \geq 7500 \text{ мин}^{-1}$,
- 3750 мин^{-1} , если $5000 \text{ мин}^{-1} \leq n_N < 7500 \text{ мин}^{-1}$;
- $3/4 n_N$, если $n_N \leq 5000 \text{ мин}^{-1}$,

где n_N – номинальная частота вращения ДВС, при которой двигатель развивает максимальную мощность.

2.3.4.3. Метод измерения шума, производимого сжатым воздухом

Измерение проводят в точках расположения микрофонов, показанных на рис. 27, на неподвижном транспортном средстве. Регистрируют наивысший уровень звука по шкале А **при открытии регулятора давления и при выпуске воздуха из систем рабочего и стояночного тормозов** после их использования.

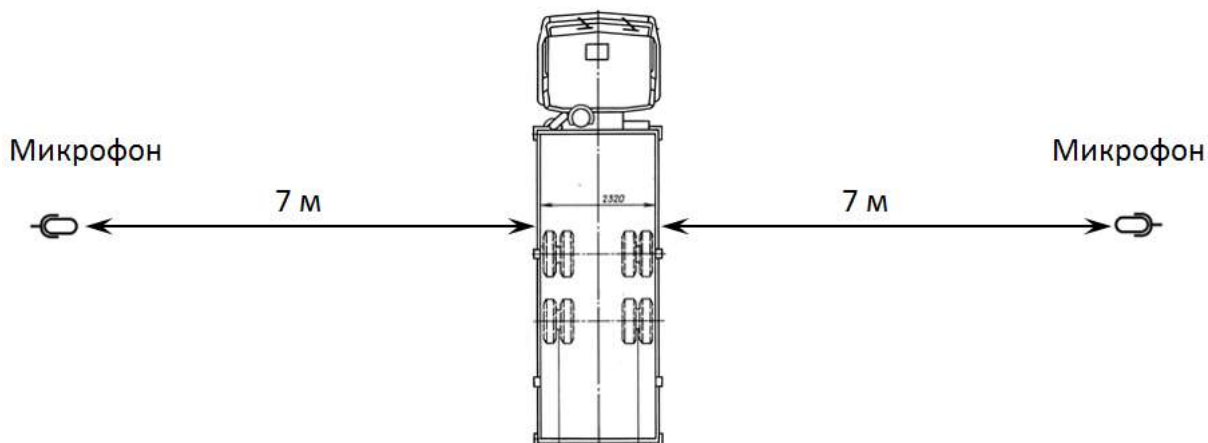


Рис. 27. Точки расположения микрофонов для измерения уровня шума, производимого сжатым воздухом

Шум, производимый при открытии регулятора давления, измеряют при работе двигателя в режиме холостого хода.

Шум, производимый при выпуске воздуха из систем тормозов, регистрируют в ходе включения рабочего и стояночного тормозов; перед каждым измерением воздушный компрессор должен обеспечить максимально допустимое рабочее давление, после чего двигатель выключают.

В каждой точке расположения микрофона проводят по два измерения.

С учётом неточности показаний измерительных приборов полученные значения уменьшают на 1 дБ(А) и уменьшенное значение принимают за результат измерения. Результаты считаются действительными, если расхождение в значениях, полученных в одной и той же точке расположения микрофона, не превышает 2 дБ(А). В качестве результата принимают наибольшее значение, полученное при измерении. Если это значение превышает предельное значение уровня звука на 1 дБ(А), то в соответствующей точке расположения микрофона проводят два дополнительных измерения. В этом случае три из четырёх результатов измерения, полученных в этой точке, не должны превышать предельного значения уровня звука.

Уровень звука не должен превышать предельного значения, составляющего 72 дБ(А).

2.3.4.4. Соответствие производства

Для проверки соответствия производства из серии транспортных средств выбирается одно АТС. Соответствие производства считается обеспеченным, если уровни шума в движении превышают не более чем на 1 дБ(А) пределы, предписанные выше.

2.3.5. Правила ЕЭК ООН №59 (сменные глушители для автомобилей)

Правила ЕЭК ООН №59 содержат требования к сменным глушителям выхлопа для АТС категорий М1 и N1.

Показатели снижения звука сменного глушителя проверяют с использованием методов, описанных в Правилах ЕЭК ООН № 51.

Полученное в результате измерения значение (округлённое до ближайшего целого числа) не должно превышать значение, полученное в соответствии с Правилами № 51 применительно к АТС, оборудованного штатным глушителем:

- в режиме движения – более чем на 1 дБ(А);
- в неподвижном состоянии – более чем на 2 дБ(А).

Кроме того, значение противодавления, измеренное на сменном глушителе выхлопа при номинальном режиме работы двигателя, не должно превышать более чем на 25% значение, измеренное на штатном глушителе.

Глушители с несколькими переключаемыми вручную или электронно режимами работы по выбору водителя должны соответствовать всем требованиям при любом режиме функционирования. Регистрации подлежат показатели, полученные при использовании режима работы с максимальными уровнями звука.

1.1.1.1. Соответствие производства

Считается, что производство соответствует требованиям данных Правил, если соблюдаются положения Правил № 51, касающиеся данного типа транспортного средства, и если уровень звука, измеренный в ходе испытания транспортного средства в движении при помощи метода, описанного в данных Правилах, не превышает более чем на 3 дБ(А) уровень звука, измеренный во время официального утверждения типа, и более чем на 1 дБ(А) применяемые предельные величины, предписанные в Правилах № 51.

2.3.6. Правила ЕЭК ООН №63 (шум мопедов)

Правила ЕЭК ООН №63 применяют к АТС категории L₁ в отношении производимого ими шума.

Измерение шума мопеда проводят двумя методами:

- АТС, находящегося в движении;
- АТС, находящегося в неподвижном состоянии¹.

¹ Испытание АТС в неподвижном состоянии проводят для установления контрольного значения для АТС, находящихся в эксплуатации.

Во время измерений мопед должен находиться в нормальном снаряжённом состоянии (с охлаждающей жидкостью, маслом, топливом, комплектом инструментов, запасным колесом и водителем). Общая масса водителя и испытательного оборудования, используемого на мопеде, должна быть не более 90 кг и не менее 70 кг. Если минимальная масса мопеда не достигает 70 кг, на мопеде необходимо разместить соответствующий груз.

2.3.6.1. Метод измерения шума в движении

Процедура испытания АТС в движении с ускорением при полностью открытой дроссельной заслонке аналогична процедуре Правил №9, рассмотренной в главе 2.3.2.1, за исключением следующих особенностей:

- испытательная скорость составляет $30 \pm 0,5$ км/ч;
- выбирают высшую передачу, которая позволит мопеду пересечь линию AA' при частоте вращения двигателя, составляющей не менее половины частоты вращения двигателя, при которой он развивает максимальную мощность;
- с каждой стороны АТС производится по меньшей мере два измерения.

Конечным результатом испытания является среднее арифметическое четырёх измеренных значений уровня звука L_{wot} , дБ(А), округлённое до десятой.

Максимальные пределы уровня звука для мопедов представлены в табл. 11.

Таблица 11

Предельные уровни звука для мопедов

Категория двухколёсных мопедов	Максимальные значения уровня шума в дБ(А)
≤ 25 км/ч	66
> 25 км/ч	71
Велосипеды, предназначенные для приведения в движение с помощью педалей и оснащённые вспомогательным двигателем, не являющимся электрическим, основное назначение которого – усиление тяги, создаваемой при кручении педалей, и который должен отключаться при достижении АТС скорости ≥ 25 км/ч	63

2.3.6.2. Метод измерения шума в неподвижном состоянии

Процедура испытания АТС в неподвижном состоянии аналогична процедуре Правил №9, рассмотренной в главе 2.3.2.2.

2.3.6.3. Соответствие производства

Для проверки соответствия производства из серии АТС выбирают одно. Соответствие производства считается обеспеченным, если измеренный уровень звука превышает не более чем на 3 дБ(А) значение, полученное при испытании для официального утверждения, и не более чем на 1 дБ(А) предельные значения, указанные в табл. 11.

2.3.7. Правила ЕЭК ООН №92 (сменные глушители для мотоциклов и мопедов)

Правила ЕЭК ООН №92 применяются к сменным глушителям для АТС категорий L1, L2, L3, L4 и L5.

Шумопонижающая эффективность сменных глушителей или их компонентов проверяется при помощи методов, описанных в Правилах № 9, 41 и 63.

Значения уровня звука, определённые при помощи двух методов (на неподвижном и движущемся транспортном средстве), не должны превышать значений, измеренных для того же АТС, оснащённого оригинальным глушителем.

Кроме того, максимальная мощность двигателя и скорость АТС, измеренные со сменным глушителем, не должны отличаться от мощности и скорости, измеренной с оригинальным глушителем, более чем на $\pm 5\%$.

Сменные глушители с различными режимами работы, переключаемыми вручную или электронно по выбору водителя, должны соответствовать всем требованиям при любом режиме функционирования. Регистрации подлежат показатели, полученные при использовании режима работы с максимальными уровнями звука.

2.3.7.1. Соответствие производства

Считается, что производство соответствует требованиям данных Правил, если соблюдаются положения Правил № 9, 41 и 63, касающиеся данного типа транспортного средства, и если уровень звука, измеренный

в ходе испытания транспортного средства в движении при помощи метода, описанного в данных Правилах, не превышает более чем на 3 дБ(А) уровень звука, измеренный во время официального утверждения типа, и более чем на 1 дБ(А) применяемые предельные величины, предписанные в Правилах № 9, 41 и 63.

2.3.8. Правила ЕЭК ООН №117 (шум качения шин)

Правила ЕЭК ООН №117 применяются к новым пневматическим шинам классов С1, С2 и С3 в отношении издаваемого ими звука, сопротивления качению и эффективности сцепления на мокрых поверхностях¹. Однако они не применяются к:

- шинам, рассчитанным на использование в качестве «запасной шины временного пользования» и имеющим маркировку «Temporary use only» («Только для временного пользования»);
- шинам, имеющим код номинального диаметра обода ≤ 10 (или ≤ 254 мм) или ≥ 25 (или ≥ 635 мм);
- шинам, предназначенным для соревнований;
- шинам, предназначенным для установки на дорожных транспортных средствах, не относящихся к категориям М, N и О;
- шинам, оснащённым дополнительными приспособлениями для улучшения ходовых качеств (например, шипованным шинам);
- шинам, рассчитанным на скорость менее 80 км/ч (индекс категории скорости «F»);
- шинам, предназначенным только для установки на транспортных средствах, впервые зарегистрированных до 1 октября 1990 года;
- профессиональным шинам повышенной проходимости.

«Класс шины» означает одну из следующих групп:

- **С1:** шины, соответствующие Правилам ЕЭК ООН №30 (шины, предназначенные преимущественно для АТС категорий М1, О1 и О2);
- **С2:** шины, соответствующие Правилам ЕЭК ООН № 54 (шины, предназначенные преимущественно для АТС категорий М2, М3,

¹ Методы оценки и нормы эффективности сцепления на мокрых поверхностях в данном учебном пособии не рассматриваются.

N, O3 и O4) и имеющие индекс несущей способности для одиночной шины не выше 121 и обозначение категории скорости не ниже «N»;

- **С3:** шины, соответствующие Правилам ЕЭК ООН № 54 и имеющие: индекс несущей способности для одиночной шины не ниже 122; или индекс несущей способности для одиночной шины не выше 121 и обозначение категории скорости не выше «М».

1.1.1.1. Метод измерения уровня звука, издаваемого шиной при качении

Для обеспечения того, чтобы конструктивные особенности испытательного транспортного средства не оказывали существенного влияния на уровень звука, издаваемого шинами при качении, применяют нижеследующие требования и рекомендации:

- колёсная база между двумя осями с установленными на них испытательными шинами для класса С1 должна быть менее 3,5 м, а для шин классов С2 и С3 – менее 5 м;
- на АТС не должно быть брызговиков или других дополнительных устройств для защиты от брызг;
- в непосредственной близости от ободьев колёс и шин не допускается устанавливать или сохранять элементы, которые могут экранировать звуковое излучение;
- регулировка колёс (схождение, развал и угол продольного наклона поворотного шкворня) должна полностью соответствовать рекомендациям изготовителя АТС;
- не следует устанавливать дополнительные звукопоглощающие материалы в колёсные ниши и на нижнюю часть кузова;
- состояние подвески АТС должно быть таким, чтобы она препятствовала чрезмерному уменьшению клиренса нагруженного в соответствии с требованиями испытаний АТС;
- элементы АТС, шум которых может быть частью фонового шума, рекомендуется снять;
- следует убедиться, что тормоза не создают характерного шума вследствие неполного освобождения тормозных колодок;
- следует убедиться, что охлаждающие вентиляторы отключены;
- окна и потолочный люк АТС должны быть закрыты.

На испытательном АТС устанавливают четыре одинаковые шины. Шины, к установке которых предъявляют специальные требования, должны испытываться в соответствии с этими требованиями (например, направленный рисунок протектора). Шины должны испытываться на ободьях, рекомендуемых изготовителем.

Испытательная нагрузка Q_t для каждой шины на испытательном транспортном средстве должна составлять 50...90% контрольной нагрузки Q_r . Для всех шин контрольная нагрузка Q_r соответствует максимальной массе, предусмотренной для индекса несущей способности шины.

Каждая шина, установленная на испытательном транспортном средстве, должна иметь испытательное давление P_t , не превышающее контрольного давления P_r , в пределах:

$$P_r \cdot \left(\frac{Q_t}{Q_r}\right)^{1,25} \leq P_t \leq 1,1 \cdot P_r \cdot \left(\frac{Q_t}{Q_r}\right)^{1,25}.$$

Для шин класса С1 контрольное давление $P_r = 250$ кПа в случае «стандартных» шин и 290 кПа в случае «усиленных» шин или шин «с повышенной несущей способностью»; минимальное испытательное давление должно быть $P_r = 150$ кПа.

Для шин классов С2 и С3 контрольным давлением P_r является давление, соответствующее индексу давления, указанному на боковине шины.

Перед началом испытаний шины обкатывают, с тем чтобы ликвидировать наплывы или другие неровности, образующиеся в процессе формовки протектора. Продолжительность такой обкатки обычно соответствует приблизительно 100 км эксплуатации в нормальных дорожных условиях.

Перед началом испытаний шины разогревают в условиях, соответствующих испытательным условиям.

Для проведения всех измерений АТС должно двигаться по измерительному участку (АА' – ВВ') по прямой линии таким образом, чтобы средняя продольная плоскость транспортного средства находилась как можно ближе к линии СС' (см. рис. 23).

В момент, когда передний край испытательного АТС достигает линии АА', водитель транспортного средства должен поставить рычаг переключения передач в нейтральное положение и выключить двигатель.

При движении АТС накатом между линиями AA' и BB' (передний край АТС на линии AA', задний край АТС на линии BB') измеряют максимальный уровень звука, выраженный в децибелах, взвешенных по шкале «А» (дБ(А)). Это значение будет составлять результат измерения.

С каждой стороны испытательного транспортного средства выполняют не менее четырёх измерений при скорости испытания ниже контрольной скорости V_{ref} , равной

- 80 км/ч для шин классов С1 и С2;
- 70 км/ч для шин класса С3.

и не менее четырёх измерений при скорости испытания выше этой контрольной скорости. Эти скорости должны быть в интервале:

- от 70 до 90 км/ч для шин классов С1 и С2;
- от 60 до 80 км/ч для шин класса С3.

Уровень звука, издаваемого шиной при качении по дорожному покрытию, L_R в дБ(А) определяют посредством регрессионного анализа по формулам (52)...(55).

$$L_R = \bar{L} - a \cdot \bar{v}, \quad (52)$$

где \bar{L} – среднеарифметическое значение уровней звука, производимого при качении, дБ(А);
 \bar{v} – среднеарифметическое значение логарифмов скорости;
 a – наклон регрессионной прямой, дБ(А).

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i, \quad (53)$$

где \bar{L}_i – результаты измерения уровней звука, производимого шинами при качении, дБ(А);
 n – число измерений ($n \geq 16$).

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg \left(\frac{v_i}{v_{ref}} \right), \quad (54)$$

где v_i – результаты измерения скорости АТС при прохождении его переднего края через линию PP', км/ч;
 v_{ref} – контрольная скорость, км/ч;
 n – число измерений ($n \geq 16$).

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})(L_i - \bar{L})}{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2} \quad (55)$$

Для шин классов С1 и С2 окончательный результат должен быть приведён к эталонной температуре испытательного покрытия ϑ_{ref} посредством температурной коррекции по следующей формуле

$$L_R(\vartheta_{ref}) = L_R(\vartheta) + K(\vartheta_{ref} - \vartheta), \quad (56)$$

где ϑ – измеренная температура поверхности испытательной площадки, °С;

ϑ_{ref} – эталонная температура поверхности испытательной площадки, °С. $\vartheta_{ref} = 20$ °С.

Для шин класса С1 коэффициент $K = -0,03$ дБ(А)/°С, когда $\vartheta > \vartheta_{ref}$ и $K = -0,06$ дБ(А)/°С, когда $\vartheta < \vartheta_{ref}$.

Для шин класса С2 коэффициент $K = -0,02$ дБ(А)/°С.

Для шин класса С3 температурную коррекцию не проводят.

Окончательный результат – уровень звука, издаваемого шиной при качении, с температурной коррекцией $L_R(\vartheta_{ref})$, выраженный в дБ(А), – должен округляться до ближайшего меньшего целого значения.

Для шин класса С1 уровень звука, издаваемого при качении, не должен превышать значений, соответствующих применимой стадии, указанной в табл. 12.

Таблица 12

Пределные уровни шума для шин категории С1

Стадия I	
Номинальная ширина профиля	Пределный уровень, дБ(А)
145 и менее	72
Более 145 и до 165	73
Более 165 и до 185	74
Более 185 и до 215	75
Более 215	76
Стадия II	
Номинальная ширина профиля	Пределный уровень, дБ(А)
185 и менее	70
Более 185 и до 245	71
Более 245 и до 275	72
Более 275	74

Пределные уровни должны быть увеличены на 1 дБ(А) для шин с повышенной несущей способностью или усиленных шин и на 2 дБ(А) для «шин специального назначения».

Предельные уровни должны быть увеличены на 1 дБ(А) для «зимних шин для использования в тяжёлых снежных условиях», шин с повышенной несущей способностью или усиленных шин либо для любой комбинации этих классификаций.

Для шин класса С2 уровень звука, издаваемого при качении, соотносящийся с категорией использования, не должен превышать значений, соответствующих применимой стадии, указанной в табл. 13.

Таблица 13

Предельные уровни шума для шин категории С2

Стадия I		
Категория использования	Предельный уровень, дБ(А)	
Обычная шина	75	
Зимняя шина	77	
Шина специального назначения	78	
Стадия II		
Категория использования	Предельный уровень, дБ(А)	
	Прочие	Тяговые шины
Обычная шина	72	73
Зимняя шина	72	73
Зимняя шина для использования в тяжёлых снежных условиях	73	75
Шина специального назначения	74	75

Примечание: «тяговая шина» означает шину класса С2 или С3 с надписью «TRACTION» («ТЯГОВАЯ»), предназначенную для установки главным образом на ведущей оси(ведущих осях) АТС, чтобы максимизировать передачу усилия при различных обстоятельствах.

Для шин класса С3 уровень звука, издаваемого при качении, соотносящийся с категорией использования не должен превышать значений, соответствующих применимой стадии, указанной в табл. 14.

Таблица 14

Предельные уровни шума для шин категории С3

Стадия I	
Категория использования	Предельный уровень, дБ(А)
Обычная шина	76
Зимняя шина	78
Шина специального назначения	79

Продолжение табл. 14

Стадия II		
Категория использования	Предельный уровень, дБ(А)	
	Прочие	Тяговые шины
Обычная шина	73	75
Зимняя шина	73	75
Зимняя шина для использования в тяжёлых снежных условиях	74	76
Шина специального назначения	75	77

Примечание: «тяговая шина» означает шину класса С2 или С3 с надписью «TRACTION» («ТЯГОВАЯ»), предназначенную для установки главным образом на ведущей оси (ведущих осях) АТС, чтобы максимизировать передачу усилия при различных обстоятельствах.

2.3.8.1. Методы измерения коэффициента сопротивления качению шины

В данных Правилах приведены альтернативные методы измерения коэффициента сопротивления качению шины, перечисленные ниже. Выбор индивидуального метода предоставляется лицу, проводящему испытания. Измерения, проводимые во время испытаний, должны быть преобразованы в силу, воздействующую на зону контакта между шиной и беговым барабаном. Измеряют следующие параметры:

- а) при **методе оценки сил**: противодействующую силу, измеряемую или преобразованную на шпинделе шины;
- б) при **методе оценки крутящего момента**: входной крутящий момент, измеряемый на испытательном барабане;
- в) при **методе выбега**: торможение выбега комплекта испытательного барабана и шины;
- г) при **методе оценки мощности**: мощность, подводимую к испытательному барабану.

Максимальные значения коэффициента сопротивления качению шин не должны превышать значений, представленных в табл. 15.

Таблица 15

Максимальные значения коэффициента сопротивления качению

Класс шины	Максимальное значение (Н/кН)	
	Стадия 1	Стадия 2
C1	12,0	10,5
C2	10,5	9,0
C3	8,0	6,5

Примечание: в случае «зимних шин для использования в тяжёлых снежных условиях» предельные значения должны быть увеличены на 1 Н/кН.

2.3.8.2. Соответствие производства

Для проверки соответствия производства из партии серийного производства произвольно отбирают шины, имеющие знак официального утверждения. Обычно проверку соответствия производства проводят не реже одного раза в два года.

Проверки проводят с использованием такой же процедуры, которая была принята для первоначального официального утверждения.

Считается, что производство отвечает требованиям настоящих Правил, если измеренные уровни звука соответствуют предельным уровням с дополнительным допуском +1 дБ(А) на возможные отклонения в ходе массового производства.

2.4. Утилизация автотранспортных средств**2.4.1. Правила ЕЭК ООН №133 (рециклинг автомобилей)**

Правила ЕЭК ООН № 133 определяют требования в отношении возможности повторного использования, рециклинга и утилизации АТС категорий М1 и N1. На рис. 28 приведена схема, поясняющая используемые термины.

Повторное использование (компоненты)	Утилизация		Неутилизируемый остаток (материалы)
	Рециклинг (материалы)	Регенерация энергии (материалы)	
Степень рециклирования			
Степень утилизации			

Рис. 28. Пояснение значения терминов, используемых при утилизации АТС

Транспортные средства, относящиеся к категориям М1 и N1, должны быть сконструированы таким образом, чтобы их можно было:

- повторно использовать и/или рециклировать как минимум на 85% по массе;
- повторно использовать и/или утилизировать как минимум на 95% по массе.

Расчёт степени рециклирования и степени утилизации АТС после окончания их эксплуатации проводят в соответствии с этапами его переработки:

- подготовка к утилизации;
- демонтаж;
- отделение металлов;
- переработка неметаллических остатков.

Материалы, из которых изготовлено АТС, подразделяют на виды:

- металлы;
- полимеры, исключая эластомеры;
- эластомеры (резино-технические изделия);
- стекло;
- жидкости;
- модифицированные органические природные материалы (например, кожа, дерево, картон, хлопчатобумажное волокно);
- другие материалы (могут включать те компоненты, которые невозможно легко разделить на составляющие материалы, например, такие, как имеющие сложную структуру, электронные и электрические компоненты).

Разделение на эти виды проводят на каждой стадии расчёта для каждой составляющей массы.

Критериями возможности **повторного использования компонентов** являются обеспечение:

- возможности демонтажа (наличие проверенной технологии разборки без повреждения конструкции компонента);
- дорожной и экологической безопасности при повторном использовании компонента на АТС.

Критериями возможности отнесения компонента к **пригодным для рециклирования** являются наличие:

- информации о составе материалов, из которых изготовлен компонент;
- проверенной технологии рециклирования материалов, из которых изготовлен компонент.

Все чёрные и цветные металлы следует считать рециклируемыми.

Для целей расчёта шины считаются пригодными к рециклингу.

Компетентный орган по сертификации должен удостовериться в том, что изготовитель принял необходимые меры для:

- сбора соответствующих данных по всей производственно-сбытовой цепи, в частности о характере и массе всех материалов, используемых при производстве АТС, для выполнения необходимых расчётов;
- обеспечения наличия в своём распоряжении всех других данных о соответствующем АТС, требующихся для таких расчётов, например данных об объёме заправочных жидкостей и т.п.;
- надлежащей проверки информации, полученной от поставщиков;
- разбивки материалов по категориям;
- обеспечения способности рассчитывать показатели возможности утилизации и восстановления в соответствии со стандартом ISO 22628: 2002¹;
- проверки того, что компоненты, перечисленные ниже, при производстве новых транспортных средств повторно не используются;
- маркировки компонентов из полимеров и эластомеров в соответствии с требованиями стандартов ISO 1043-1 «Пластмассы – Символы и сокращённые термины. Часть 1: Основные полимеры и их особые характеристики», ISO 1043-2 «Пластмассы – Символы и сокращённые термины. Часть 2: Наполнители и армирующие материалы», ISO 11469 «Пластмассы – Типовая идентификация и маркировка изделий из пластмассы», ISO 1629² «Каучуки и латексы – номенклатура».

¹ ГОСТ 31968 – 2013 Автомобильные транспортные средства. Метод расчёта степени рециклирования и утилизации.

² Это требование не применяется к маркировке шин.

Следующие компоненты транспортных средств, относящихся к категориям М1 и N1, не подлежат повторному использованию при производстве новых транспортных средств:

- все подушки безопасности, включая сами подушки и пиротехнические приводы, электронные блоки управления и датчики;
- автоматические или неавтоматические ремни безопасности в сборе, в том числе сами ремни и пряжки, втягивающие устройства и пиротехнические приводы;
- сиденья (только в тех случаях, когда крепления ремней безопасности и/или подушек безопасности встроены в сиденья);
- устройства блокировки рулевого управления, воздействующие на рулевую колонку;
- иммобилайзеры, в том числе транспондеры и электронные блоки управления;
- системы очистки отработавших газов (например, каталитические нейтрализаторы, сажевые фильтры);
- глушители.

Изготовитель транспортного средства обязан продемонстрировать, что в рамках контрактных договорённостей с поставщиками обеспечено соблюдение ограничений в отношении материалов и веществ в контексте недопустимого применения свинца, ртути, кадмия и гексавалентного хрома.

Контрольные вопросы и задания к главе 2

1. Как измеряется максимальная скорость АТС согласно Правилам ЕЭК ООН № 68?
2. Как измеряется расход топлива АТС согласно Правилам ЕЭК ООН № 84?
3. Как измеряется мощность ДВС согласно Правилам ЕЭК ООН № 85?
4. Как измеряется расход топлива и выбросы CO₂ АТС согласно Правилам ЕЭК ООН № 101?
5. Как измеряется дымность ОГ ДВС согласно Правилам ЕЭК ООН № 24?

6. Как измеряются выбросы ЗВ с ОГ мотоциклов согласно Правилам ЕЭК ООН № 40?
7. Как измеряются выбросы ЗВ с ОГ мопедов согласно Правилам ЕЭК ООН № 47?
8. Как измеряются выбросы ЗВ с ОГ ДВС для большегрузных АТС согласно Правилам ЕЭК ООН № 49?
9. Как измеряются выбросы ЗВ с ОГ лёгких АТС согласно Правилам ЕЭК ООН № 83?
10. Каковы требования к сменным нейтрализаторам и фильтрам согласно Правилам ЕЭК ООН № 103 и № 132?
11. Каковы общие условия проведения акустических измерений?
12. Как измеряется шум мопедов и мотоциклов согласно Правилам ЕЭК ООН № 9, № 41 и № 63?
13. Как измеряется шум АТС согласно Правилам ЕЭК ООН № 51?
14. Каковы требования к сменным глушителям согласно Правилам ЕЭК ООН № 59 и № 92?
15. Как измеряется шум качения шин согласно Правилам ЕЭК ООН № 117?
16. Каковы требования в отношении возможности повторного использования, рециклинга и утилизации АТС согласно Правилам ЕЭК ООН № 133?

3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Достоверность получаемых при испытаниях АТС и ДВС результатов зависит от правильного выбора соответствующей измерительной аппаратуры, которая должна обеспечивать:

- заданную точность измерения обследуемых параметров;
- стабильность показаний в реальных условиях испытаний при наличии неизбежного действия вибрации вследствие работы поршневого двигателя, возможных колебаний напряжения в электрической сети лаборатории или изменения температуры в окружающей среде и других внешних возмущающих факторов;
- необходимое быстроедействие при одновременном исключении возможности появления помех протеканию обследуемых процессов или искажения измеряемых параметров;
- необходимую чувствительность действия, позволяющую надёжно измерять физические величины в соответствии с заданной точностью.

Кроме того, желательно, чтобы измерительные устройства и приборы имели возможно малые габариты, простую и удобную для наблюдений, регулировок и обслуживания конструкцию, допускали дистанционные измерения, когда наблюдатель и пульт управления удалены от объекта испытаний.

3.1. Динамометрические стенды

Динамометр – это устройство, которое измеряет силу, крутящий момент или мощность. **Динамометрический стенд** предназначен для создания и измерения нагрузки, преодолеваемой двигателем или автотранспортным средством, измерения других необходимых параметров рабочего процесса, обеспечения заданного температурного режима работы ДВС или АТС. Кроме того, динамометрические стенды оснащаются оборудованием для измерения таких «выходных» параметров и характеристик, как расход топлива, потребление энергии, выбросы загрязняющих веществ или уровень шума. Работа этого оборудования полностью интегрируется с работой стенда.

В зависимости от объекта испытаний (ДВС или АТС) различают:

- динамометрические моторные стенды (англ. *engine dynamometers*);
- динамометрические автомобильные стенды с колёсными динамометрами (англ. *wheel dynamometer*)
- динамометрические автомобильные стенды с беговыми барабанами (англ. *chassis dynamometer*).

Основным элементом динамометрических стендов является нагрузочно-приводное устройство, создающее по мере необходимости либо регулируемое сопротивление вращению двигателя, работающего в активном режиме, либо прокручивание двигателя, работающего в режиме запуска или принудительного холостого хода. В моторных стендах нагрузочное устройство присоединяется непосредственно к валу двигателя, в колёсных стендах – к ступицам ведущих колёс, а в стендах с беговыми барабанами – к барабанам, с которыми контактируют ведущие колёса автотранспортного средства.

Для выполнения всех необходимых для проведения сертификационных испытаний функций в составе нагрузочно-приводных устройств могут использоваться следующие комбинации оборудования:

- гидравлический тормоз + маховики + стартер;
- вихретоковый (индукционный) тормоз постоянного тока + маховики (опционально) + стартер;
- регенеративная (опционально) электрическая машина переменного тока (индукторная) или постоянного тока (с постоянными магнитами).

Гидравлический тормоз представляет собой гидромуфту, насосное колесо которой приводится от испытуемого двигателя, а турбинное колесо закреплено неподвижно. Насосное колесо передаёт энергию гидравлической жидкости, которая разгоняется, двигаясь по внутренней тороидальной поверхности лопаток насосного колеса. Разогнавшаяся гидравлическая жидкость перемещается к неподвижному турбинному колесу, где происходит её торможение (рис. 29). Создаваемый тормозной момент пропорционален частоте вращения насосного колеса, а также количеству, плотности и вязкости гидравлической жидкости. Из-за интенсивного перемешивания

гидравлической жидкости в ходе разгонно-тормозного цикла происходит её нагрев. Таким образом кинетическая энергия двигателя преобразуется в тепловую энергию, которая отводится от тормоза при помощи системы охлаждения гидравлической жидкости.

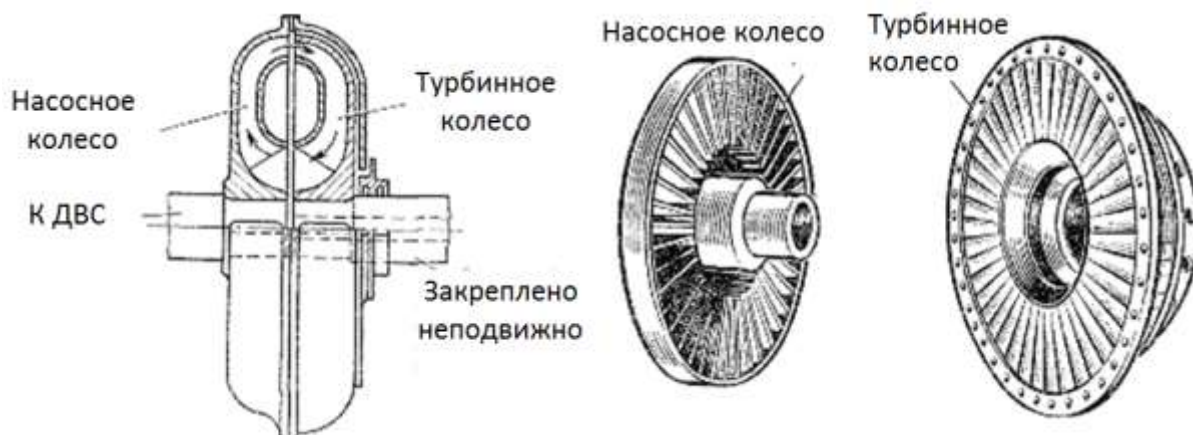


Рис. 29. Схема устройства гидравлического тормоза

В **вихретоковом тормозе** постоянный ток течёт через обмотку возбуждения, расположенную в роторе, создавая магнитное поле. Напряжённость этого поля зависит от силы тока возбуждения. Ротор тормоза вращается за счёт энергии испытуемого двигателя. При этом магнитное поле создаёт на поверхности статора вихревые¹ токи (т.н. токи Фуко). Вихревые токи создают собственное магнитное поле, которое противодействует полю ротора. Ротор испытывает силу сопротивления со стороны статора, которая препятствует его движению. Эта сила пропорциональна току возбуждения и частоте вращения ротора. Вихревые токи приводят к нагреву металла статора. Таким образом кинетическая энергия двигателя преобразуется в тепловую энергию, которая отводится от статора при помощи системы охлаждения тормоза (жидкостной или воздушной).

Индукционный (асинхронный) тормоз состоит из обмоток, расположенных как на роторе, так и на статоре. Напряжение, подаваемое контроллером на концы обмоток статора, создаёт в них электрический ток, приводящий к появлению вокруг обмоток магнитного поля. Контроллер тормоза переключает напряжение от одной обмотки к соседней по кругу, заставляя магнитное поле «вращаться».

¹ Термин «вихревой» означает, что силовые линии тока замкнуты.

Изменяющееся магнитное поле, проходя сквозь обмотки ротора¹, индуцирует в них электрический ток, который, в свою очередь, формирует собственное магнитное поле, противодействующее магнитному потоку статора. Взаимодействие магнитных полей статора и ротора создаёт крутящий момент, замедляющий движение ротора. Момент пропорционален току возбуждения. Чтобы в обмотке ротора возникала ЭДС, необходимо, чтобы частота вращения ротора отличалась от частоты вращения поля статора. Поэтому ротор вращается асинхронно относительно поля статора, а тормоз называется **асинхронным**. Относительная разность частоты вращения ротора и частоты вращения поля статора называется скольжением. Номинальное скольжение обычно составляет 2...8%. Поле статора вращается медленнее частоты вращения ротора, что приводит к появлению ЭДС в обмотках статора (т.н. генераторный или рекуперативный режим торможения). Таким образом кинетическая энергия двигателя преобразуется в электрическую энергию, генерируемую на обмотках статора, и небольшое количество тепловой энергии, образуемой из-за омических потерь при протекании тока по обмоткам.

Принцип действия **синхронного тормоза с постоянными магнитами** основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля статора и магнитного поля полюсов индуктора, расположенного на роторе. В качестве индуктора используются постоянные магниты. Основное преимущество такой конструкции заключается в том, что магниты формируют своё собственное магнитное поле без необходимости пропускания через них электрического тока. Контроллер мотора подаёт напряжение только на обмотки статора, формируя в статоре вращающееся магнитное поле, которое, взаимодействуя с магнитным полем постоянных магнитов в роторе, создаёт тормозной крутящий момент, замедляющий движение ротора. Поле статора вращается медленнее частоты вращения ротора, что приводит к появлению ЭДС в обмотках статора (т.н. генераторный или рекуперативный режим торможения). Таким образом кинетическая

¹ Наиболее часто обмотки ротора выполняются короткозамкнутыми, по виду напоминая «беличью клетку» или же полый цилиндр из алюминия или меди.

энергия ДВС преобразуется в электрическую энергию, генерируемую на обмотках статора и небольшое количество тепловой энергии, образуемой из-за омических потерь при протекании тока по обмоткам.

3.1.1. Динамометрические моторные стенды

Динамометрические моторные стенды могут предназначаться для исследования как одного двигателя, так и всей силовой установки, включающей ДВС и агрегаты трансмиссии. Последние используются в ходе исследовательских испытаний, особенно при разработке и тестировании гибридных силовых агрегатов.

Типичный состав оборудования динамометрического моторного стенда для испытания ДВС по Правилам ЕЭК ООН №49 показан на рис. 30.

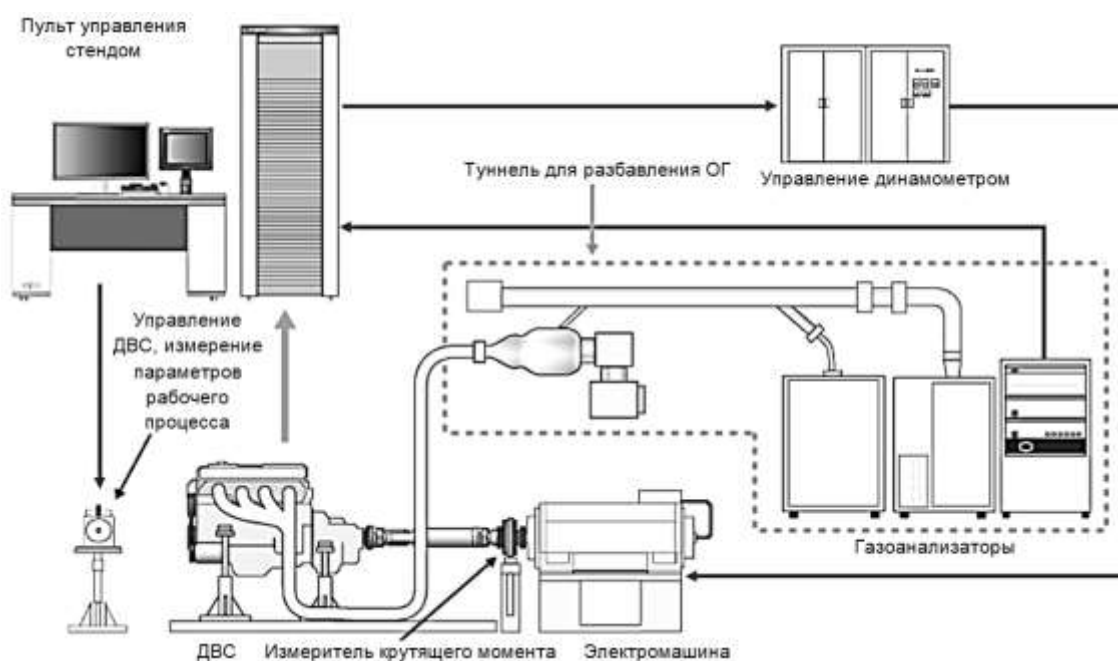


Рис. 30. Типичный состав оборудования динамометрического моторного стенда для испытания ДВС (источник: фирма Ono Sokki)

3.1.2. Динамометрические автомобильные стенды с колёсными динамометрами

На динамометрических автомобильных стендах с колёсными динамометрами автомобиль устанавливается так, что вместо колёс

подключаются нагрузочно-приводные устройства. Это позволяет проводить испытания, подобные тем, что проводятся на моторных, моторно-трансмиссионных стендах или на стендах с беговыми барабанами. Особенно полезны такие стенды для испытаний гибридов и внедорожных транспортных средств с высоким крутящим моментом.

Типичный состав оборудования динамометрического стенда с колёсными динамометрами показан на рис. 31.

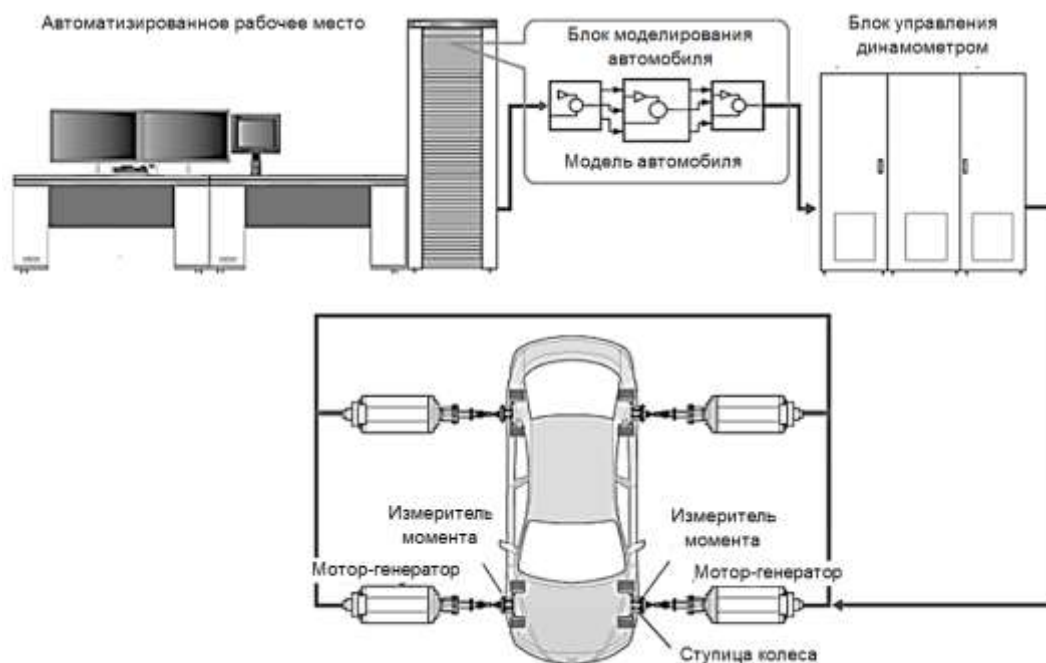


Рис. 31. Типичный состав оборудования динамометрического колёсного стенда для испытания АТС (источник: фирма Ono Sokki)

3.1.3. Динамометрические стенды с беговыми барабанами

Динамометрические автомобильные стенды с беговыми барабанами могут иметь исполнения для передне- задне- или полноприводных автомобилей. Такие стенды являются обязательными для проведения сертификационных испытаний лёгких АТС по всему миру.

Для управления транспортным средством на стенде требуется активировать специальный режим управления. В противном случае транспортное средство не будет работать нормально, поскольку такие системы безопасности, как ABS или ESP, обнаружат неисправность, поскольку вращаются колёса только одной оси транспортного средства.

Когда вращаются колёса на обеих осях, такой режим не понадобится. Поэтому двухосный динамометр является более предпочтительным.

Типичный состав оборудования динамометрического стенда с беговыми барабанами для испытания легковых автомобилей по Правилам ЕЭК ООН №83 показан на рис. 32.

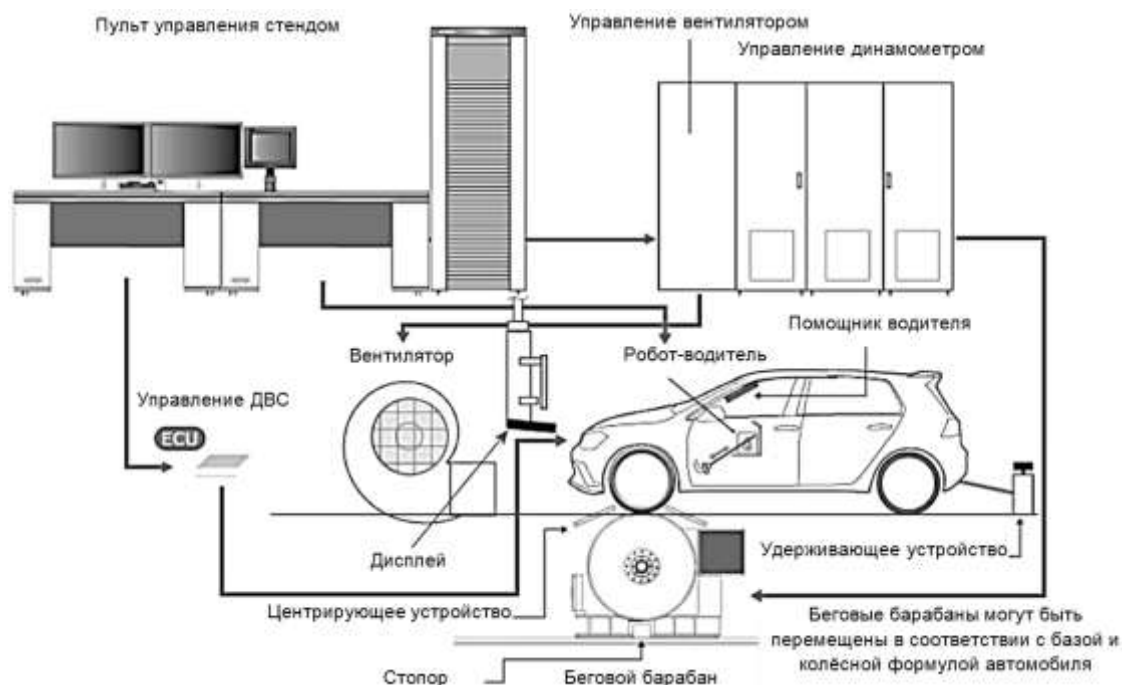


Рис. 32. Типичный состав оборудования динамометрического стенда для испытания автомобилей (источник: фирма Ono Sokki)

Динамометрический стенд должен быть оснащён системами, имитирующими инерцию АТС и сопротивление его движению.

Стенд может быть оснащён одним или двумя барабанами на каждую ось, которые могут быть спарены. В этом случае передний барабан должен приводить в действие прямо или опосредованно энергопоглощающее устройство, имитатор инерции или инерционные массы и устройство измерения скорости и пройденного расстояния.

Совокупная инерция вращающихся частей стенда (включая, при необходимости, имитируемую инерцию) должна быть известна и должна соответствовать массе эквивалентной инерции, предписанной для испытания АТС, ± 20 кг.

Точность воспроизведения дорожной нагрузки на динамометрическом стенде должна равняться $\pm 5\%$ при скорости 120, 100, 80, 60 и 40 км/ч и $\pm 10\%$ при скорости 20 км/ч.

Скорость транспортного средства определяют по скорости вращения бегового барабана (переднего барабана в том случае, если динамометр имеет два барабана на каждую ось). Она измеряется с точностью ± 1 км/ч для скоростей выше 10 км/ч.

Фактически пройденное транспортным средством расстояние измеряют по движению вращающегося барабана (переднего барабана в том случае, если динамометр имеет два барабана на каждую ось).

Для динамометрических стендов с электронной имитацией инерции необходимо показать, что они выдают результаты, эквивалентные результатам механических инерционных систем (с маховиками).

3.2. Газоанализаторы и вспомогательное оборудование

3.2.1. Системы отбора проб отработавших газов

Для того, чтобы определить массовый выброс ЗВ с ОГ, необходимо измерить массовую концентрацию этого ЗВ в ОГ и объём ОГ. В случае измерения объёмной концентрации ЗВ необходимо также знать его плотность.

Существует три метода отбора проб ОГ для измерения в них концентраций ЗВ:

- отбор проб непосредственно из потока неразбавленных ОГ (англ. *raw exhaust*);
- отбор проб из разбавленной чистым воздухом части потока ОГ (англ. *Partial Flow Dilution, PFD*);
- отбор проб из разбавленного чистым воздухом полного потока ОГ (англ. *Full Flow Dilution, FFD*).

3.2.1.1. Система отбора проб непосредственно из потока неразбавленных ОГ

Данный метод используют как в сертификационных, так и исследовательских целях для получения так называемого «модального» анализа выбросов газообразных ЗВ (измерение дисперсных частиц требует разбавления потока ОГ). Модальный анализ предполагает получение непрерывных графиков изменения выбросов газообразных ЗВ (в г/с) в течении всей испытательной процедуры. Измеряют как концентрацию ЗВ, так и объём ОГ, причём сигналы измерительного

оборудования должны быть синхронизированы по времени (рис. 33). Для выбросов NO_x получаемые результаты необходимо корректировать для учёта влажности пробы ОГ. Полученные зависимости концентраций и расхода ОГ от времени интегрируют для определения массы выбросов ЗВ за всю испытательную процедуру.

Данный метод используют для измерения выбросов газообразных ЗВ с ОГ двигателей тяжёлых транспортных средств и внедорожной техники. Данный метод применяется также в переносных системах измерения выбросов (ПСИВ).



Рис. 33. Упрощённая схема системы отбора проб непосредственно из потока ОГ (Источник: фирма AVL)

Для измерения объёма неразбавленных отработавших газов существуют различные методы:

- непосредственное измерение в выхлопной трубе (в принципе, наиболее точный метод, однако высокая температура ОГ затрудняет такие измерения);
- измерение расхода воздуха и топлива на входе в двигатель и последующий расчёт объёма ОГ (наиболее распространённый в настоящее время метод);
- измерение расхода воздуха или расхода топлива на входе в двигатель, а также измерение коэффициента избытка воздуха по сигналу от λ -зонда и последующий расчёт объёма ОГ (метод применяется при невозможности одновременного измерения расхода воздуха и топлива);
- расчёт объёма ОГ на основе данных¹ бортовой самодиагностики двигателя OBD-II (современные системы самодиагностики

¹ Используется сигнал с датчика массового расхода воздуха и данные о мгновенном расходе топлива через форсунки.

характеризуются высокой точностью, однако это необходимо доказать в ходе специальной проверки).

3.2.1.2. Система отбора проб из разбавленной чистым воздухом части потока ОГ

Данный метод, как правило, используют для измерения выбросов дисперсных частиц (как массы, так и счётного количества) с ОГ двигателей тяжёлых транспортных средств и внедорожной техники.

Системы разбавления частичного потока разбавляют часть отобранных из основного потока ОГ предварительно очищенным от дисперсных частиц и углеводородов воздухом. Отбираемая часть ОГ должна быть пропорциональна общему расходу ОГ ДВС. Для этого необходимо точное и быстрое регулирование расхода отбираемой пробы ОГ, а также точное и быстрое измерение общего расхода ОГ двигателя.

Для измерения выброса дисперсных частиц с ОГ ДВС тяжёлой техники могут использоваться варианты анализа всей отобранной и разбавленной пробы, а также анализа лишь части отобранной и разбавленной пробы (рис. 34). Выбор варианта зависит от степени заполнения контрольных фильтров дисперсными частицами для конкретного двигателя (чем двигатель более мощный и «грязный», тем предпочтительней становится вариант с анализом части пробы), а также когда требование к температуре на поверхности фильтра не может быть выполнено при однократном разбавлении.

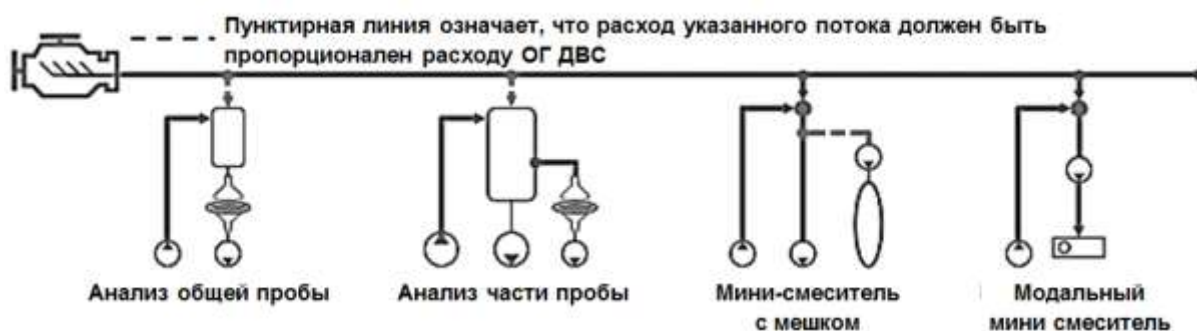


Рис. 34. Упрощённая схема системы отбора проб из разбавленного чистым воздухом частичного потока ОГ (Источник: фирма AVL)

Мини-разбавитель с мешками для сбора проб (англ. *Bag Mini Diluter, BMD*) – это система разбавления частичного потока для анализа газообразных ЗВ. Коэффициент разбавления поддерживается

постоянным, но скорость наполнения мешка должна регулироваться пропорционально потоку ОГ двигателя, точно и с минимальным временем задержки. На практике BMD используется редко.

Модальный мини-разбавитель (англ. *Modal Mini Diluter, MMD*) – это всего лишь устройство для разбавления перед анализаторами «сырых» отработавших газов. Идея состоит в том, что разбавление перед измерением концентрации может служить переключателем измерительного диапазона, анализаторы низкого диапазона могут использоваться для «сырых» ОГ (где концентрации относительно высокие), можно избежать конденсации воды... Однако на практике MMD используются очень редко.

При использовании систем с разбавлением части потока ОГ необходимо уделять внимание устранению потенциальных проблем, связанных с осаждением дисперсных частиц в отводящем патрубке, обеспечению того, чтобы из ОГ двигателя отбиралась репрезентативная проба, и определению коэффициента разделения потоков.

3.2.1.3. Система отбора проб из разбавленного чистым воздухом полного потока ОГ

3.2.1.3.1. Метод отбора проб постоянного объёма

Метод отбора проб постоянного объёма (англ. *Constant Volume Sampling, CVS*) является обязательным для сертификации лёгких транспортных средств. Позволяет измерять массовые выбросы всех ЗВ без необходимости измерения объёма ОГ. Разбавление полного потока ОГ предотвращает конденсацию газообразных ЗВ и создаёт необходимые условия для правильного формирования дисперсных частиц¹. Метод отличается высокой точностью, воспроизводимостью результатов, однако состав оборудования зависит от размерности (мощности) двигателя. Кроме того, этот метод требует наиболее дорогостоящего оборудования.

Принцип действия этого метода заключается в поддержании постоянного во времени потока смеси ОГ и воздуха в условиях быстрого

¹ Образование дисперсных частиц не заканчивается ни в двигателе, ни в выхлопной системе автомобиля и продолжается, когда отработавшие газы разбавляются окружающим воздухом.

изменения в ходе процедуры испытания потока ОГ и концентраций загрязняющих веществ в нём. В соответствии с измеренным общим расходом смеси ОГ и воздуха и усреднёнными концентрациями ЗВ в ней определяются их массовые выбросы. Концентрацию проб корректируют с учётом содержания ЗВ в окружающем воздухе.

Отработавшие газы автомобиля смешиваются с предварительно очищенным от дисперсных частиц и углеводородов окружающим воздухом и направляются в тоннель для разбавления (рис. 35). Непосредственно из тоннеля производится отбор проб для измерения дисперсных частиц (массы и счётного количества), а после тоннеля пробы для измерения газообразных ЗВ отбираются в тедларовые¹ мешки достаточной ёмкости. Обычно имеется 4 пары мешков, один комплект для пробы разбавленных ОГ и соответствующий комплект для разбавляющего воздуха. Однако возможен и «модальный», т.е. непрерывный в течение всего испытания, режим измерения концентраций ЗВ в разбавленных ОГ. При этом, однако, требуется определение расхода общего потока ОГ ДВС.

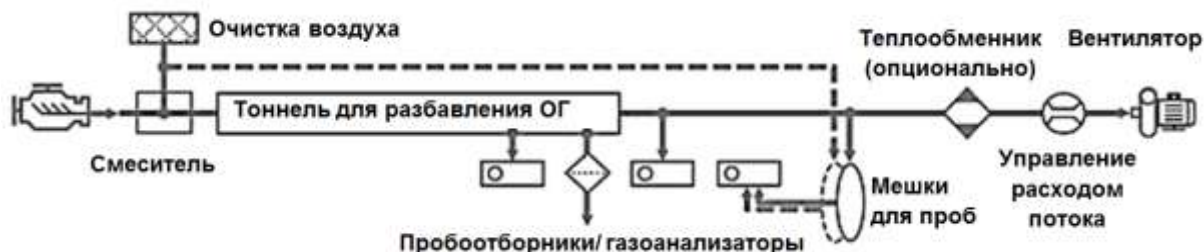


Рис. 35. Упрощённая схема системы отбора проб из разбавленного чистым воздухом полного потока ОГ (Источник: фирма AVL)

Расход смеси ОГ с воздухом на установке CVS (Q_{CVS}) всегда поддерживается постоянным. Общий расход смеси в CVS намного больше (в 4 и более раз), чем максимальный расход ОГ двигателя (Q_{EG}). Для разных категорий двигателей будут использоваться различные размеры CVS (2- и 3-колесные ТС – $Q_{CVS} < 6 \text{ м}^3/\text{мин}$, легковые автомобили – $Q_{CVS} < 40 \text{ м}^3/\text{мин}$ и двигатели большой мощности – $Q_{CVS} < 160 \text{ м}^3/\text{мин}$).

¹ Tedlar® – плёнка из поливинилфлуорида.

Разница между постоянным расходом смеси в CVS и постоянно изменяющимся расходом отработавших газов ДВС определяет расход всасываемого разбавляющего воздуха ($Q_{AIR} = Q_{CVS} - Q_{EG}$). Коэффициент разбавления ($DF = Q_{EG} / Q_{AIR}$) при этом также автоматически постоянно изменяется. Расход отбираемых проб происходит пропорционально полному расходу Q_{CVS} . Это обеспечивает соблюдение пропорциональности мгновенных концентраций ЗВ их массовому выбросу.

Обычно контроль и измерение потока смеси Q_{CVS} осуществляются с помощью **сопла Вентури с критическим расходом**¹ (англ. *Critical Flow Venturi, CFV*). Как правило, используются 4 сопла, которые обеспечивают 15 различных скоростей потока. Возможны и другие варианты, тем не менее встречающиеся довольно редко (рис. 36):

- **насос объёмного действия** (англ. *Positive Displacement Pump, PDP*) – механический вакуумный насос, в котором объём, заполненный газом, периодически отсекается от входа насоса и перемещается к его выходу. Он транспортирует газ без его сжатия. При этом объёмный расход пропорционален частоте вращения вала насоса;
- **ультразвуковой измеритель потока** (англ. *Ultra-sonic Flow Meter, UFM*). Регулируемый вентилятор генерирует расход потока смеси. Ультразвуковой датчик измеряет расход потока и является управляющим сигналом для регулирования скорости вращения вентилятора;
- **сопло Вентури с дозвуковым потоком** (англ. *Sub-Sonic Venturi, SSV*). Регулируемый вентилятор генерирует расход потока смеси. Сопло Вентури используется в дозвуковом режиме, т.е. без критического состояния потока, для измерения расхода потока и для управления скоростью вращения вентилятора.

¹ Критическое сопло Вентури в котором газ ускоряется до критической скорости (т.е. местной скорости звука) в горловине. При достижении критической скорости массовый расход газа в сопле является максимально возможным для существующих условий на входе в сопло.

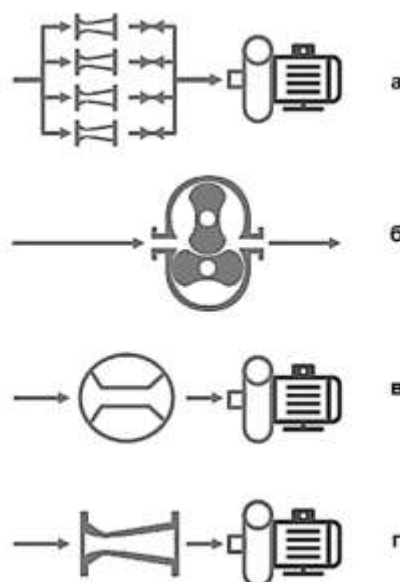


Рис. 36. Разновидности устройств для регулирования расхода смеси в системе CVS: а – набор сопел Вентури с критическим потоком; б – насос объёмного действия; в – ультразвуковой измеритель потока; г – сопло Вентури с дозковым потоком (Источник: фирма AVL)

Система CVS не должна влиять на работу двигателя, например, если CVS создаёт сильное разрежение в выхлопной трубе ДВС, то это может привести к снижению расхода топлива и CO_2 , поскольку двигателю потребуется меньше работы для выталкивания выхлопных газов из цилиндра через выхлопную систему. Также вентилятор системы CVS может вызвать поток воздуха через остановленный двигатель, что повлияет на работу каталитического нейтрализатора (например, его охлаждение и «загрузка» кислорода на поверхность носителя). Также аномальное разрежение в выхлопной трубе ДВС может повлиять на работу системы рециркуляции отработавших газов. Поэтому существуют нормативные требования к давлению на выходе из выхлопной трубы, которое должно составлять $\pm 0,75$ кПа при скорости транспортного средства 50 км/ч или $\pm 1,25$ кПа в течение всей испытательной процедуры.

Существуют нормативные требования и к линии передачи ОГ между выхлопной трубой транспортного средства и впускным отверстием системы CVS. Длина линии передачи ОГ должна быть менее 3,6 метра или менее 6,1 метра, если линия теплоизолированная.

3.2.1.3.2. Метод отбора проб переменного объёма

Метод CVS хорошо соответствует требованиям экологических стандартов. В то же время метод отбора проб постоянного объёма накладывает фундаментальные ограничения на определение низких уровней массовых выбросов загрязняющих веществ современными экологически чистыми транспортными средствами, в частности, использующими альтернативные виды моторного топлива.

Ограничения заключаются в самом принципе метода отбора проб с постоянным объёмом. Минимальный расход смеси ОГ и воздуха, требуемый для обеспечения отсутствия конденсации влаги, должен быть установлен для наиболее нагруженного режима работы двигателя. Этот расход, который остаётся постоянным на протяжении всей процедуры испытания для цикла вождения (или двигателя), слишком велик для режимов малой и средней (частичной) нагрузки двигателя, на которые приходится значительная часть времени испытания и массы выбросов загрязняющих веществ.

Слишком высокий коэффициент разбавления ОГ воздухом при частичной нагрузке двигателя в условиях низких концентраций загрязняющих веществ в неразбавленных ОГ приводит к концентрациям отдельных загрязняющих веществ, которые сопоставимы с их концентрациями в воздухе в лаборатории. Это делает их измерение крайне затруднительным.

Метод отбора проб переменного объёма (англ. *Variable Volume Sampling, VVS*), позволяет приблизить коэффициент разбавления ОГ к минимально необходимому значению не только в одном режиме максимальной нагрузки, но и в других режимах работы двигателя во время процедуры испытания. Это позволяет значительно увеличить разницу между концентрациями загрязняющих веществ в разбавленных ОГ и в окружающем воздухе. Однако это делает невозможным применение простого подхода к определению массовых выбросов, как это делается в методе отбора проб постоянного объёма. Постоянное изменение расхода смеси ОГ и воздуха требует более сложных подходов к определению массовых выбросов загрязняющих веществ.

Значение коэффициента разбавления ОГ определяется соотношением измеренной концентрации двуокиси углерода (CO_2) в неразбавленных ОГ, приведённой к моменту отбора проб смеси из

выхлопных газов и воздуха, и измеренной концентрации CO_2 в разбавленных ОГ, определённой во время отбора проб из основного потока этой смеси. Определённый таким образом коэффициент разбавления ОГ для условий частичной нагрузки двигателя существенно ниже, чем для системы CVS, и ближе к оптимальному значению.

Текущие массовые выбросы загрязняющих веществ рассчитываются по синхронизированным во времени мгновенным значениям концентраций и мгновенным значениям расхода смеси ОГ и воздуха (т.н. «модальный» анализ выбросов).

Благодаря оптимальному коэффициенту разбавления на всех режимах испытания, измеренные концентрации ЗВ получаются в 4...5 раз больше скорректированных концентраций этих ЗВ по методу CVS. Это позволяет увеличить разрешение и снизить погрешность результата.

Недостатком данного метода является сложность его реализации.

3.2.2. Методы измерения концентрации ЗВ

3.2.2.1. Измерение концентрации общих углеводородов (ТНС)

В ОГ может содержаться несколько сотен различных видов углеводородов (НС), которые в значительной степени зависят от типа используемого топлива, что связано с различными свойствами топлива и методами нефтепереработки. В законодательстве о выбросах невозможно определить предельные нормы для каждого отдельного соединения. Как правило, нормируются выбросы общего количества всех углеводородов (англ. *Total Hydrocarbons, THC*), а также в некоторых законодательных актах – выбросы неметановых углеводородов (англ. *Non Methane Hydrocarbons, NMHC*).

Для измерения общего количества углеводородов (ТНС) используется **пламенно-ионизационный детектор** (англ. *Flame Ionization Detector, FID*) (рис. 37).

Принцип измерения. При постоянном потоке синтетического воздуха и смеси водорода/гелия внутри измерительной ячейки горит пламя. В это пламя подмешивается небольшое количество отобранных отработавших газов. Если в образце присутствуют углеводороды, их молекулы расщепляются и ионизируются. Эти ионы увеличивают поток ионного тока между анодом и катодом внутри FID, где наконечник горелки

действует как один полюс, а второй полюс находится рядом с пламенем. Протекающий ток прямо пропорционален количеству атомов углерода в образце газа. Не все углеводороды будут расщепляться одинаково, но для отдельных углеводородов достигается «постоянная эффективность». Так называемые **коэффициенты отклика** указывают, как реагирует детектор FID на различные молекулы углеводородов. Коэффициент отклика даёт соотношение между измеренной концентрацией углеводородных соединений по отношению к пропану, который используется для калибровки анализатора. Типичные коэффициенты отклика составляют от 0,85 до 1,15.

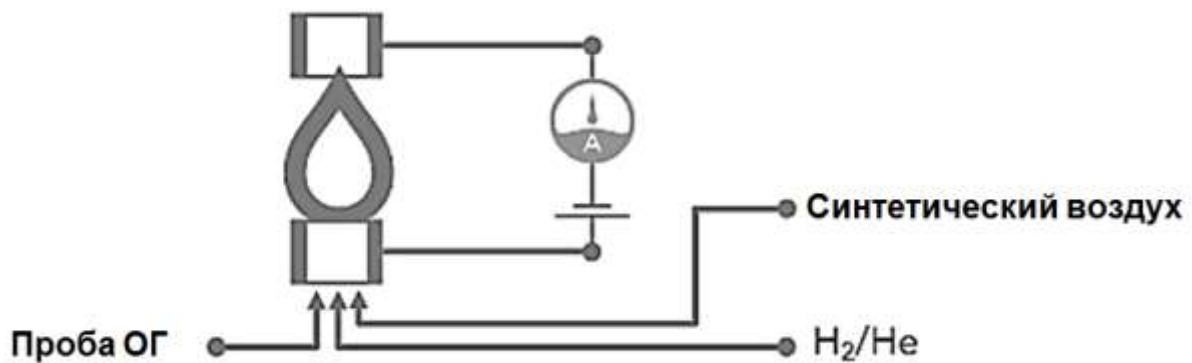


Рис. 37. Схема системы FID для измерения концентрации THC
(Источник: фирма AVL)

Для измерений ОГ дизельных двигателей все части системы отбора проб и анализатора FID нагреваются до 191 °С, чтобы избежать конденсации высококипящих углеводородов, которые присутствуют в ОГ дизельных двигателей. Такая разновидность анализатора называется **«горячий» пламенно-ионизационный детектор** (англ. *Hot Flame Ionization Detector, HFID*).

Подогреваемую пробоотборную магистраль оснащают подогреваемым фильтром, обеспечивающим 99-процентный уровень эффективности улавливания частиц размером $\geq 0,3$ мкм с целью извлечения из требуемого для анализа потока газа любых дисперсных частиц.

Неметановые углеводороды (NMHC) измеряются двумя анализаторами FID, один измеряет THC, а второй измеряет метан (CH₄). Для измерения CH₄ используется отделитель метана или хроматографическая колонка (рис. 38).

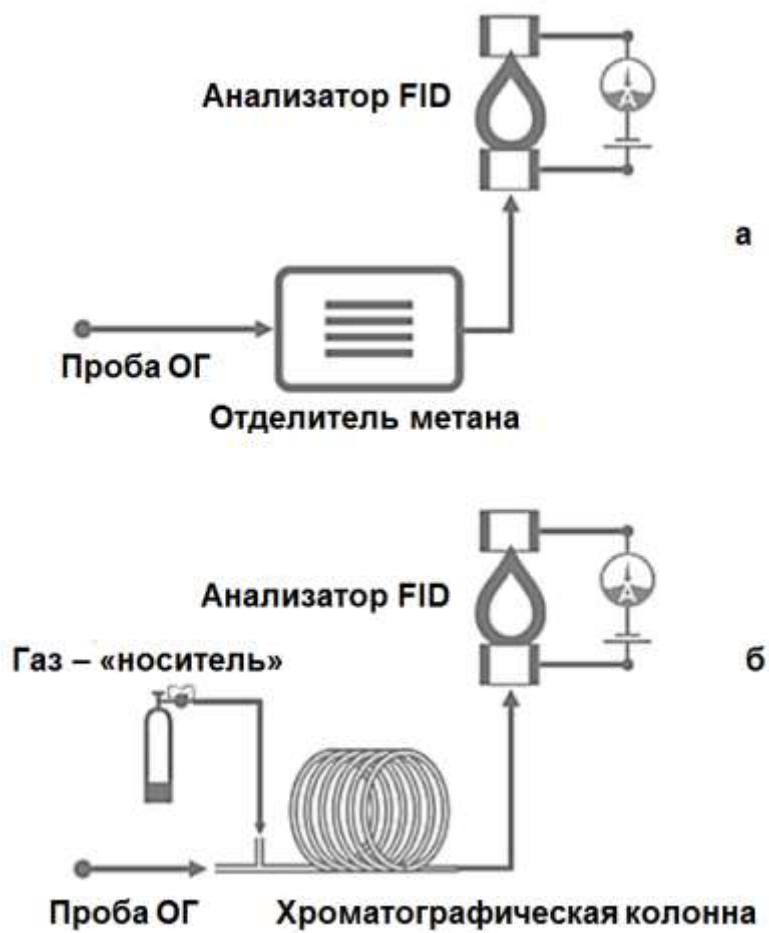


Рис. 38. Схема систем FID для измерения концентрации NMHC:
 а – с отделителем метана; б – с хроматографической колонкой
 (Источник: фирма AVL)

Отделитель метана использует катализатор, который преобразует все углеводороды, кроме CH_4 , в CO_2 и H_2O . Таким образом, только CH_4 достигнет анализатора FID. Какие именно углеводороды преобразуются, зависит от материала катализатора и температуры. В реальности отделитель метана работает не идеально. Эффективность отделителя определяется для CH_4 и C_2H_6 (этана) и затем используется в расчёте концентрации NMHC.

Для определения метана может использоваться **разделительная колонка газового хроматографа**, расположенная перед анализатором FID. Образец газа проталкивается газом-носителем, таким как азот N_2 , через очень узкую и длинную трубку. Различные молекулы газа, в зависимости от свойств молекулы, будут по-разному быстро проходить через трубку газового хроматографа, благодаря чему отдельные

молекулы выделяются из трубки «по очереди». Это приведёт к чередованию различных пиков на графике считывания показаний анализатора FID. Метан (CH_4) будет первой молекулой ТНС, измеренной FID. Данный метод не является модальным измерением, поэтому его можно использовать только для анализа проб из мешков.

3.2.2.2. Измерение концентрации оксидов азота (NO и NO_x)

Типичным аналитическим методом измерения концентраций NO и NO_x является **метод детекции хемилюминесценции** (англ. *Chemiluminescence Detector, CLD*). В некоторых законодательных актах также допускается использование **недисперсионного ультрафиолетового анализатора** (англ. *Non-Dispersive Ultraviolet analyzer, NDUV*). В случае если требуется измерить концентрацию NO_2 , будут использоваться два метода, один – для измерения концентрации NO_x , а другой – для измерения концентрации NO , разница между ними и будет составлять концентрацию $\text{NO}_2 = \text{NO}_x - \text{NO}$.

На самом деле детектор хемилюминесценции (CLD) измеряет только концентрацию NO . Для того чтобы также измерить концентрацию NO_x , проба ОГ сначала пропускается через каталитический нейтрализатор (конвертер), который преобразует весь NO_2 в NO .

В измерительной ячейке NO смешивается с озоном (O_3), что вызывает химическую реакцию, которая создаёт хемилюминесцентный (световой) эффект. Химическая реакция между NO и O_3 приводит к образованию NO_2 и O_2 , но примерно 10% NO_2 будет производиться в так называемом «возбуждённом» энергетическом состоянии (NO_2^*). Через очень короткое время NO_2^* возвращается в своё энергетическое «основное состояние», излучая дополнительную энергию в виде квантов света (фотонов). Это очень небольшое количество света измеряется детектором света (кремниевым фотодиодом). Измеренная интенсивность света линейно пропорциональна концентрации NO в пробе газа. Необходимый O_3 вырабатывается в генераторе озона из молекулярного кислорода (O_2) (рис. 39).

Содержание в пробе ОГ паров воды (H_2O) и углекислого газа (CO_2) могут снизить чувствительность анализатора к содержанию NO . Это называется **эффектом гашения** (англ. *Quench*).

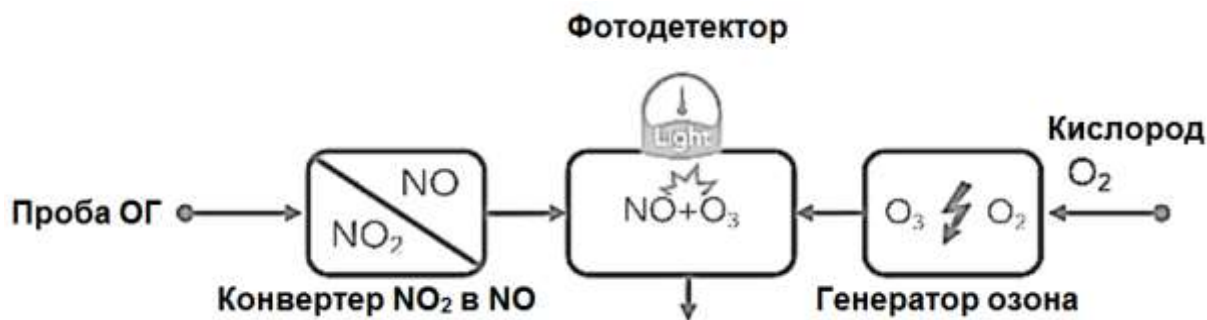


Рис. 39. Схема системы CLD для измерения концентраций NO и NO_x
(Источник: фирма AVL)

Существуют различные варианты конфигураций анализаторов CLD:

- атмосферные анализаторы;
- анализаторы вакуумного типа (создание в измерительной ячейке вакуума повышает чувствительность и снижает эффект гашения);
- подогреваемые анализаторы (подогрев всей пробоотборной магистрали и самого анализатора до температуры как минимум 70 °C¹ позволяет измерять концентрацию NO во влажных ОГ);
- частично подогреваемые анализаторы (подогрев пробоотборной магистрали до конвертера NO₂ включительно и установка после конвертера охладителя позволяет удалить из пробы ОГ влагу; при этом анализатор измеряет концентрацию NO в сухих ОГ);
- анализаторы с осушителем пробы ОГ (установка осушителя пробы ОГ перед анализатором позволяет удалить из ОГ влагу, однако вместе с ней удаляется и некоторое количество растворяющегося в воде NO₂).

3.2.2.3. Измерение концентрации углерода оксида и углерода диоксида (CO и CO₂)

Недисперсионные инфракрасные анализаторы (англ. *Non-Dispersive Infrared analyzers, NDIR*) используются для измерения углерода оксида (CO) и углерода диоксида (CO₂). Принцип измерения основан на поглощении инфракрасного излучения анализируемыми ОГ. Широкий

¹ Обычно осуществляют подогрев до 190 °C с целью совместимости с методом измерения общих углеводородов HFID.

спектр инфракрасного излучения (ИК-излучения) генерируется и проходит через измерительную ячейку. Измерительная ячейка разделена на две части, одна из которых заполнена непоглощающим компонентом (эталонным газом), а другая заполняется пробой ОГ (рис. 40). Поток ИК-излучения периодически прерывается вращающимся диском дискретизатора. В зависимости от количества CO_2 (или CO) в пробе газа часть ИК-излучения поглощается. На другой стороне измерительной ячейки детектор измеряет разницу ИК-излучения между измерительной и эталонной ячейкой. Как правило, используется **газовый детектор**, который имеет две герметичные камеры, одна из которых заполнена непоглощающим ИК-излучение газом, а другая заполнена измеряемым газом (CO_2 или CO), который поглощает ИК-излучение той же длины волны, что и анализируемый газ в измерительной ячейке. В зависимости от количества ИК-излучения, проходящего через измерительную ячейку, между двумя камерами детектора будет формироваться разница в давлении. Эта разница давлений является выходным сигналом детектора, пропорциональным концентрации газа в пробе.



Рис. 40. Схема системы NDIR для измерения концентраций CO и CO_2
(Источник: фирма AVL)

3.2.2.4. Измерение концентрации кислорода (O_2)

Парамагнитный детектор (англ. *Para-Magnetic Detector, PMD*) используется для измерения концентрации кислорода (O_2). Принцип измерения основан на том факте, что O_2 является одним из немногих газов с сильной парамагнитной восприимчивостью. Внутри измерительной ячейки создаётся сильное магнитное поле, и молекулы O_2 в образце газа будут притянуты в положение с наибольшей напряжённостью магнитного поля. В этом положении установлена на оси

так называемая «гантель» с двумя небольшими газовыми сферами, заполненными азотом. Гантель полностью немагнитна. Молекулы O_2 пытаются сместить гантель, заставив её повернуться (рис. 41).

Зеркало, установленное на оси, отражает световой луч на пару фотоэлементов, которые обнаруживают любое вращение. Это используется в контуре управления, который регулирует ток, протекающий через обмотку, расположенную на оси, и создающий противодействующий момент, удерживающий гантель в её изначальном положении. Энергия, необходимая для удержания гантели на месте, линейно пропорциональна концентрации O_2 в пробе газа.

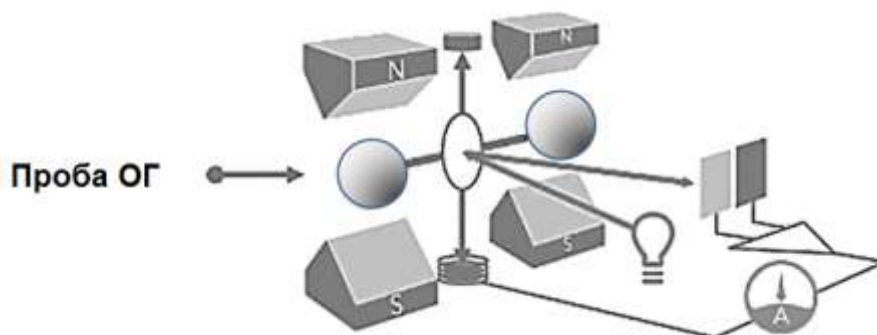


Рис. 41. Схема системы PMD для измерения концентрации кислорода O_2
(Источник: фирма AVL)

3.2.2.5. Измерение концентрации азота закиси и аммиака (N_2O и NH_3)

Анализатор квантового каскадного лазера (англ. *Quantum Cascade Laser, QCL*) используется для измерения N_2O или NH_3 . Принцип измерения основан на квантовой каскадной лазерной спектроскопии поглощения. Луч света средней и дальней инфракрасной области, излучаемый QCL-лазером, пропускается через измерительную ячейку с несколькими отражениями, прежде чем его интенсивность будет измерена детектором, обычно на основе теллурида кадмия ртути. Сравнивая исходную интенсивность излучения с интенсивностью после измерительной ячейки, рассчитывают концентрацию измеряемого газа (рис. 42). Это очень похоже на анализатор NDIR, но длину волны лазерного диода QCL можно настроить на одну линию поглощения измеряемого газа, например N_2O или NH_3 . Таким образом, он очень чувствителен, высокоселективен и не имеет значимых помех.



Рис. 42. Схема системы QCL для измерения концентрации азота закиси N_2O и аммиака NH_3 (Источник: фирма AVL)

Для измерения концентрации аммиака NH_3 также используются **детекторы на лазерных диодах** (англ. *Laser Diode Detectors, LDD*). Они представляют собой лазерный инфракрасный спектрометр для измерения NH_3 . Анализатор состоит из перенастраиваемого диодного лазера и инфракрасных детекторов, а также измерительной газовой ячейки (рис. 43).



Рис. 43. Схема системы LDD для измерения концентрации аммиака NH_3 (Источник: фирма AVL)

Существует два различных варианта измерений, один из которых предполагает установку анализатора непосредственно на выхлопную трубу, а второй предполагает использование экстрактивного отбора пробы ОГ. Для извлечения пробы ОГ линия отбора проб, предварительный фильтр и клапаны должны быть нагреты до 190 ± 10 °C, чтобы свести к минимуму потери NH_3 . Линия отбора проб должна быть как можно короче, насколько это практически возможно, из-за «липкой» природы аммиака.

3.2.2.6. Многокомпонентный анализ отработавших газов

Инфракрасный анализатор с преобразованием Фурье (англ. *Fourier transform infrared, FTIR*) использует источник широкополосного инфракрасного излучения (ИК-излучения). Луч ИК-излучения модифицируется в интерферометре. Интерферометр разделяет ИК-излучение с помощью так называемого светоделителя на два направления. Один луч направляется в неподвижное зеркало, где луч отражается обратно в светоделитель. Второй луч направляется в движущееся зеркало, откуда он также отражается обратно в светоделитель. В светоделителе два луча объединяются в один луч. В то время как длина оптического пути к неподвижному зеркалу остаётся постоянной, движущееся зеркало второго зеркала изменяет длину своего пути. Когда лучи рекомбинируют, формируется интерферограмма, которая постоянно меняется из-за движущегося зеркала. Этот луч с изменяющейся интенсивностью проходит через ячейку для измерения проб газа (рис. 44). Различные молекулы газа поглощают разные ИК-частоты, поэтому можно измерить несколько различных компонентов газа. Метод позволяет измерять одновременно те компоненты ОГ, стандартные спектры которых заложены в приборе. Спектр поглощения пробы (интенсивность/длина волны) рассчитывают на основе измеренной интерферограммы (интенсивность/время) с помощью математического метода преобразования Фурье. FTIR особенно полезен для анализа NO, NO₂, N₂O, NH₃, CO, CO₂, спиртов, углеводов и альдегидов.



Рис. 44. Схема системы FTIR для анализа многокомпонентной газовой смеси
(Источник: фирма AVL)

3.2.2.7. Отбор проб ОГ для последующего определения альдегидов и спиртов

В правилах США для автомобилей, работающих на бензине с присадкой **оксигенатов**¹ более 25 %, существуют предельные нормы на выбросы органических газов, не содержащих метан (англ. *Non methane Organic Gases, NMOG*). В состав NMOG помимо NMHC входят альдегиды и спирты.

Схемы пробоотборников для сбора альдегидов и спиртов показаны на рис. 45.

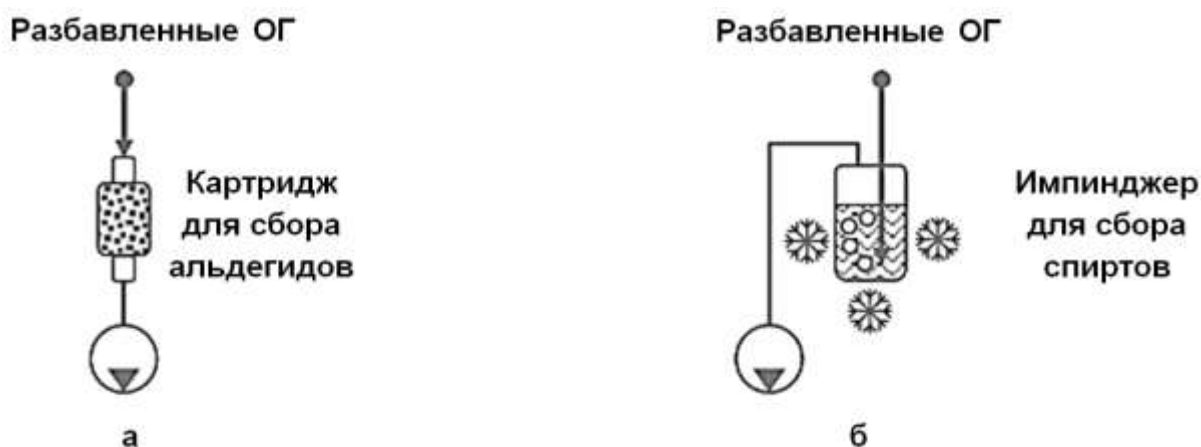


Рис. 45. Схема пробоотборников для сбора: а – альдегидов; б – спиртов
(Источник: фирма AVL)

Пробоотборник для сбора альдегидов

Разбавленные ОГ (из системы CVS) отбираются через картриджи, пропитанные 2,4-динитрофенилгидразином, для сбора альдегидов для последующего анализа в химической лаборатории. Устройство для отбора проб должно контролировать и измерять скорость потока через картриджи.

Анализ содержимого картриджей проводится методом газовой хроматографии.

Пробоотборник для сбора спиртов

Разбавленные ОГ (из системы CVS) пропускают через охлажденную воду для растворения в ней спиртов с целью последующего анализа

¹ Оксигенаты – общее название низших спиртов и простых эфиров, применяемых в качестве добавок к высокооктановым моторным топливам.

раствора в химической лаборатории. Устройство для отбора проб должно контролировать и измерять скорость потока через водяной импиджер¹.

Анализ раствора проводится методом жидкостной хроматографии под высоким давлением.

3.2.2.8. Измерение массы дисперсных частиц

Дисперсные частицы (ДЧ) – это любые вещества, собранные на определённом фильтре после разбавления отработавших газов воздухом до температуры ниже 52°C. ДЧ состоят из элементарного углерода (сажи), образующегося в процессе сгорания, конденсированных или адсорбированных углеводородов, сульфатов из серы в топливе и связанной с ними воды, нитратов, продуктов износа деталей ДВС и прочих примесей.

Выбросы ДЧ сильно изменились за последние десятилетия (с ЕВРО-1 до ЕВРО-6 снизились на 97%), особенно из-за использования дизельных сажевых фильтров (англ. *Diesel Particulate Filters, DPF*). Но также претерпел изменения и состав ДЧ, и те компоненты, которые в прошлом были относительно незначимыми (например, нитраты и прочие примеси), сейчас очень значимы, не потому, что их масса увеличилась, а потому, что масса других компонентов уменьшилась.

Процедура измерения массы дисперсных частиц, выбрасываемых с ОГ ДВС при испытании, состоит из следующих этапов:

- кондиционирование и взвешивание пустого (незаполненного) фильтра;
- отбор разбавленной пробы ОГ и пропускание её через фильтр в ходе испытания автомобиля или ДВС;
- кондиционирование и взвешивание заполненного фильтра;
- расчёт массы выброса дисперсных частиц за испытание.

Увеличение массы фильтра (загруженный вес минус пустой вес) и будет определять массу ДЧ. С учётом объёма пробы во время испытания и общего потока ОГ (в системе PFD) или потока разбавленных ОГ (в системе CVS) рассчитываются общие выбросы ДЧ.

¹ Импиджер (англ. *impinger*) – сосуд с жидкостью, в который под давлением подаётся исследуемый газ.

Современные двигатели с низким уровнем выбросов приводят к чрезвычайно низкой загрузке фильтра (например, 0,2 мг, загруженного на фильтр массой 85 мг). Это делает измерение ДЧ очень сложным.

Устройство отбора проб ДЧ состоит из пробоотборника, установленного в тоннеле для разбавления, патрубка отвода ОГ, предварительного сепаратора ДЧ, фильтродержателя, насоса, регулятора расхода (РР) и расходомера (рис. 46).

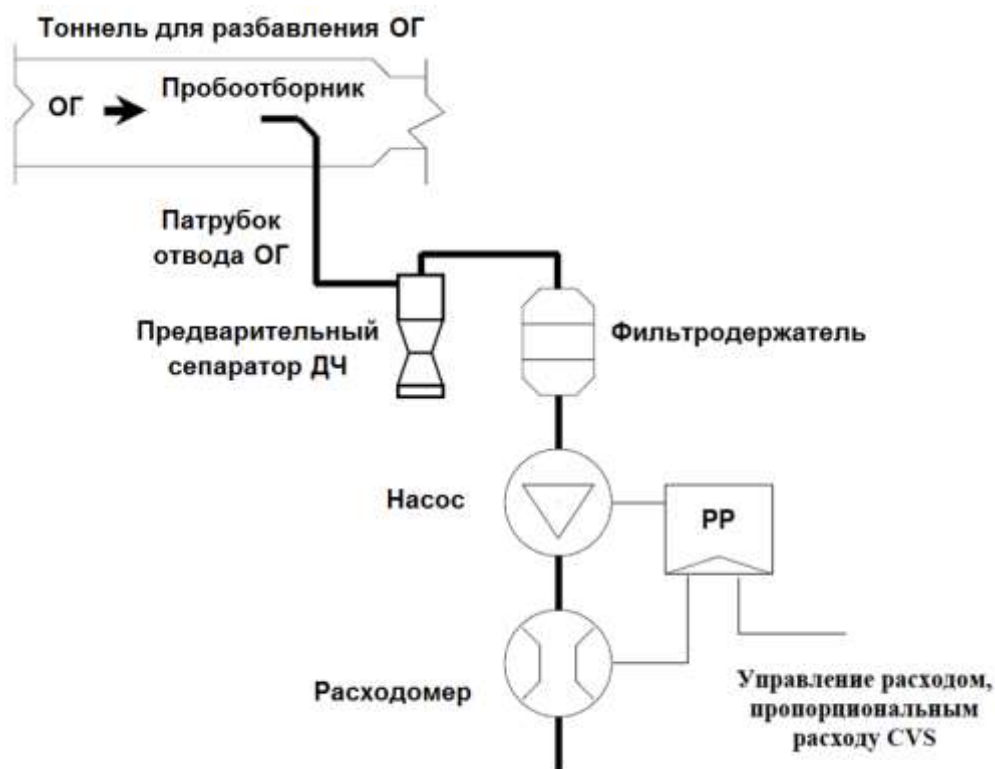


Рис. 46. Схема системы отбора проб для измерения массы ДЧ

Перед фильтродержателем устанавливают предварительный сепаратор (например, циклонного или ударного типа) для сортировки ДЧ по размеру, обеспечивающий 50%-ный уровень эффективности отделения ДЧ диаметром 2,5...10 мкм.

Расход пробы ДЧ должен быть пропорционален суммарному расходу разбавленных ОГ в канале для разбавления.

Температуру потока разбавленных ОГ на участке длиной до 20 см перед фильтром для улавливания ДЧ поддерживают на уровне ниже 325 К (52 °С), за исключением случая проведения испытания на регенерацию сажевого фильтра ДВС, когда эта температура должна составлять не более 192 °С.

Для любого конкретного испытания скорость прохождения газов через фильтрующую поверхность устанавливается в начале испытания на исходном значении в диапазоне от 20 см/с до 105 см/с.

ДЧ накапливаются на единичном фильтре, закреплённом в фильтродержателе и установленном в потоке разбавленных ОГ.

Обычно используются фильтры из стекловолокна с фторуглеродным покрытием или фильтры мембранного типа на фторуглеродной основе. Фильтры всех типов должны иметь коэффициент улавливания частиц диаметром 0,3 мкм не менее 99% при скорости прохождения газов через фильтрующую поверхность 5,33 см/с.

Блок фильтродержателя должен иметь конструкцию, обеспечивающую равномерное распределение газового потока по площади пятна осаждаемых на фильтр частиц.

Для взвешивания фильтров ДЧ используются весы с точностью взвешивания до миллионной доли грамма, с погрешностью (среднеквадратичное отклонение) не более 2 мкг и разрешением не менее 1 мкг.

В течение всего процесса кондиционирования и взвешивания фильтра в камере (или помещении) для взвешивания должны поддерживаться следующие условия:

- температура – на уровне 295 ± 3 К ($22 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$);
- относительная влажность – в пределах $45\% \pm 8\%$;
- точка росы – в диапазоне $9,5 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$.

Необходимо избегать образования статического электричества.

3.2.2.9. Измерение счётного количества дисперсных частиц

Выбросы дисперсных частиц законодательно регулируются с помощью нормирования двух показателей:

- массы ДЧ (англ. *Particulate Matter, PM*);
- счётного количества ДЧ (англ. *Particle Number, PN*).

Счётное количество ДЧ подразумевает определение только нелетучих компонентов частиц, тогда как масса ДЧ складывается из массы как летучих, так и нелетучих компонентов частиц.

Поэтому для измерения счётного количества ДЧ из разбавленных отработавших газов удаляются летучие фракции ДЧ и затем

подсчитывается количество частиц. Учитываются ДЧ размером от 23 нм до 2,5 мкм, в некоторых правилах даже от 10 нм.

В систему отбора проб входит пробоотборник, патрубок отвода ОГ, предварительный сепаратор, отделитель летучих фракций ДЧ, счётчик количества ДЧ, насос, расходомер и регулятор расхода (РР) (рис. 47).

Предварительный сепаратор ДЧ должен обеспечивать 50-процентный уровень эффективности отделения частиц диаметром 2,5...10 мкм при используемом объёмном расходе пробы.

Отделитель летучих фракций ДЧ состоит из подогреваемого (до температуры 150...400 °С) разбавителя, за которым следует подогреваемый (до температуры 300...400 °С) испарительный патрубок и второй неподогреваемый разбавитель. Разбавляющий воздух, пропускаемый через фильтр НЕРА, подают в первый разбавитель, который должен быть в состоянии обеспечивать 10...200-кратный коэффициент разбавления. Разбавляющий воздух, пропущенный через фильтр НЕРА, подают во второй разбавитель, который должен быть в состоянии обеспечивать 10...30-кратный коэффициент разбавления. Разбавление уменьшает количество частиц, чтобы сделать их концентрацию совместимой с верхним пределом измерения счётчика, а испарительный патрубок удаляет летучие фракции ДЧ. Кроме того, температура разбавленной пробы на входе в счётчик ДЧ должна составлять <35 °С.

В счётчике ДЧ сначала сатуратор испаряет н-бутанол, который затем в следующем конденсаторе оседает на частицах. В результате диаметр очень мелких частиц (несколько нм) увеличивается до примерно 10 нм, что позволяет включить их в подсчёт. Для подсчёта частиц счётчик использует метод рассеяния луча света частицами, пересекающими его траекторию.

Все части системы разбавления и системы отбора проб на участке от выхлопной трубы ДВС до счётчика ДЧ, находящиеся в контакте с первичными и/или разбавленными ОГ, должны быть сконструированы таким образом, чтобы свести к минимуму осаждение ДЧ. Все части должны быть изготовлены из электропроводящих материалов, не вступающих в реакцию с компонентами ОГ, и заземлены для предотвращения образования статического электричества.

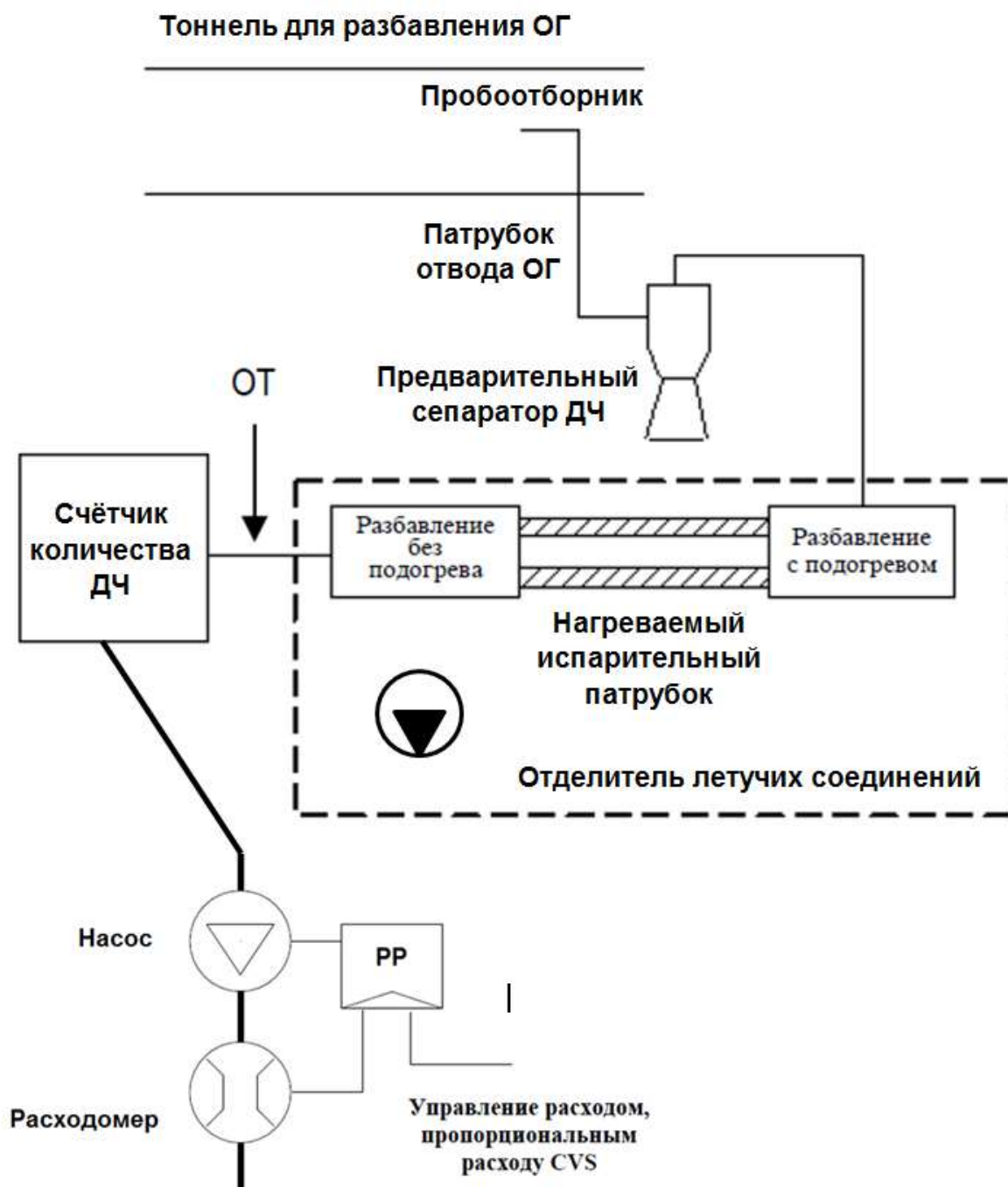


Рис. 47. Схема системы отбора проб для измерения счётного количества дисперсных частиц

Поскольку некоторое количество ДЧ всё-таки теряется в системе отбора проб, потери должны быть определены и математически скорректированы во время расчёта результата с помощью коэффициента снижения концентрации частиц.

В настоящее время измерения позволяют эффективно подсчитывать количество ДЧ размером от 2,5 до 23 нм. Ожидается, что

верхний предел в будущем уменьшится до 10 нм в соответствии с предстоящими законодательными актами.

3.2.2.10. Измерение дымности отработавших газов

Дымомер (денситометр) – это устройство, которое позволяет оценивать светопоглощающие свойства ОГ:

- **прозрачность** (англ. *transmittance*), τ , т.е. часть светового потока, распространяющегося от источника (F_0) через затенённый дымом участок и достигающего приёмника (F) прибора ($\tau = \frac{F}{F_0} \cdot 100\%$);
- **дымность** (англ. *opacity*), N , т.е. часть светового потока, распространяющегося от источника (F_0) через затенённый дымом участок и не достигающего приёмника (F) прибора ($N = 100\% \cdot \left(1 - \frac{F}{F_0}\right)$).

Принцип работы дымомеров состоит в том, что в приёмнике (например, фотоэлементе) измеряют величину светового потока, пропущенного через затенённый дымом участок светового луча между источником излучения и приёмником (см. рис. 48). Длина участка измерения, на которой определяют дымность, зависит от конструкции дымомера и называется **эффективной фотометрической длиной**.

Эффективная фотометрическая длина определяется с учётом возможного влияния защитных устройств источника света и фотоэлемента. В техническом паспорте дымомера указывают его эффективную фотометрическую длину.

В качестве источника света должна использоваться лампа накаливания с цветовой температурой 2800...3250 К или зелёный светоиспускающий диод со спектральным верхним диапазоном волн длиной 550...570 нм.

Источник и приёмник света должны быть защищены от загрязнения. Любой метод, используемый для защиты источника и приёмника света (например, продувка воздухом), не должен быть причиной изменения эффективной фотометрической длины более чем на 2 %.

Приёмник представляет собой фотоэлемент (с оптическим фильтром, если необходимо), который при использовании в качестве излучателя лампы накаливания должен иметь спектральную

характеристику, соответствующую восприимчивости человеческого глаза (максимум спектральной характеристики должен находиться в диапазоне длин волн от 550 до 570 нм).

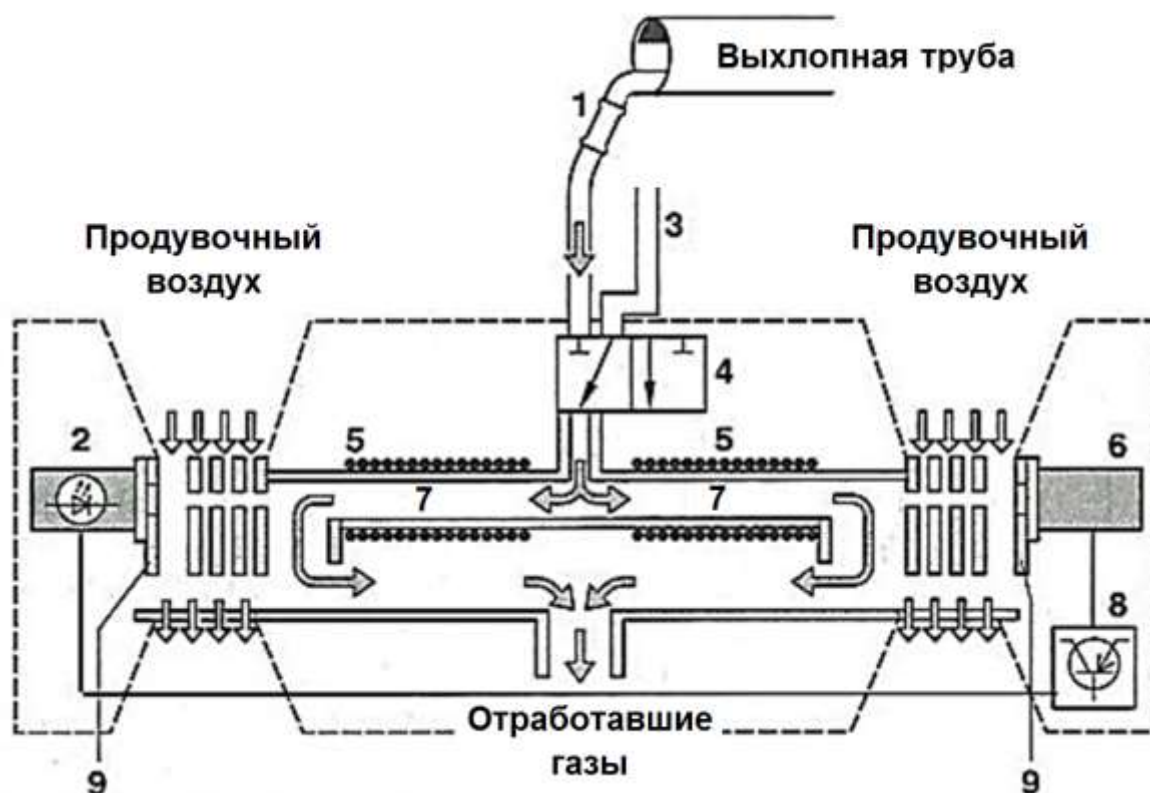


Рис. 48. Принципиальная схема дымомера: 1 – пробоотборник ОГ; 2 – источник света; 3 – чистый воздух для калибровки дымомера; 4 – клапан переключения между режимами измерения и калибровки; 5 – нагреватель измерительной камеры дымомера; 6 – приёмник света; 7 – измерительная камера; 8 – блок управления дымомером; 9 – оптическое окно

Измерение дымности проводят:

- в объёме выхлопной трубы (при использовании встроенного дымомера),
- в свободной струе ОГ на выходе из выхлопной трубы (дымомер устанавливают на её конце) или
- в специальной камере (дымомер с отбором полного или частичного потока отработавших газов).

Дымомер анализирует либо весь поток ОГ, либо отбираемую при помощи зонда из выхлопной трубы пробу. Зонд дымомера представляет собой трубу с открытой оконечностью, обращённой вперёд (к двигателю) в направлении оси выхлопной трубы. Он должен располагаться в таком

сечении, где распределение дыма является более или менее равномерным. Отношение площади сечения зонда к площади сечения выхлопной трубы должно составлять не менее 0,05. Противодействие, измеренное в выхлопной трубе на входе в зонд, не должно превышать 75 мм водяного столба (735,5 Па).

Перед дымомером должен устанавливаться перепускной клапан, если он не включён в конструкцию самого прибора. Может предусматриваться также охлаждающее устройство.

Дымомер должен иметь две измерительные шкалы, одна из которых должна быть градуирована в абсолютных величинах поглощения света от 0 до $\infty \text{ м}^{-1}$, а другая, относительная, с диапазоном измерения от 0 до 100 %. Обе измерительные шкалы охватывают диапазон от незатемнённого светового потока до его полного затемнения.

В качестве абсолютной величины поглощения света принят **коэффициент поглощения светового потока** (англ. *light absorption coefficient*). Его величина определяется из закона Бугера-Ламберта-Бера, определяющего ослабление параллельного монохроматического пучка света при распространении его в поглощающей среде

$$F = F_0 \cdot e^{-k \cdot L}, \quad (57)$$

где F – световой поток, падающий на измерительный элемент дымомера;

F_0 – световой поток, излучаемый источником света дымомера;

k – коэффициент поглощения светового потока, м^{-1} ;

L – эффективная фотометрическая длина дымомера, м.

Отсюда коэффициент поглощения светового потока

$$k = \frac{-1}{L} \cdot \ln\left(\frac{\tau}{100}\right) \text{ или } k = \frac{-1}{L} \cdot \ln\left(1 - \frac{N}{100}\right), \quad (58)$$

где k – коэффициент поглощения светового потока, м^{-1} ;

τ – прозрачность ОГ;

N – дымность ОГ;

L – эффективная фотометрическая длина дымомера, м.

Для сопоставления полученных результатов необходимо определять температуру и давление в зоне измерения дымности, так как они влияют на коэффициент поглощения светового потока k . Поэтому дымомеры должны иметь возможность измерения температуры и давления ОГ в измерительной камере.

Дымомер должен обеспечивать возможность его регулировки и проверки по всей шкале (например, при использовании нейтральных светофильтров с непрозрачностью от 15% до 60% полной шкалы прибора, устанавливаемых перпендикулярно световому потоку). Проверка дымомера в зоне значений, близких к 100%-ной дымности, осуществляется посредством полного отключения или блокировки источника света. Прибор должен автоматически или полуавтоматически проводить настройку нуля и калибровку перед началом измерений.

Временем срабатывания дымомера, вызванного физическими явлениями в измерительной камере, является время между моментом входа ОГ в измерительный прибор и моментом полного заполнения дымовой камеры; оно не должно превышать 0,4 с.

Время срабатывания электрической-измерительной цепи, соответствующее времени, необходимому для того, чтобы стрелка индикатора отклонилась на 90% шкалы при установке экрана, полностью закрывающего фотоэлемент, должно составлять 0,9...1,1 с.

3.2.2.10.1. Соответствие различных показателей дымности ОГ

В российской практике оптическая плотность ОГ (дымность) может измеряться при помощи дымомеров различного типа. Исторически сложившееся название этих типов – Hartridge и Bosch. Шкала дымомеров типа Hartridge проградуирована от 0 до 100% коэффициента поглощения светового потока (единицах дымности Hartridge, HSU). Шкала дымомеров типа Bosch проградуирована от 0 до 10 единиц дымности по шкале Bosch (BSU, BSN). Принципиальным отличием дымомеров Hartridge и Bosch является вид измеряемого светового луча: в первом случае измеряется свет, проходящий от источника сквозь поток ОГ определённой длины (чем больше дымность ОГ, тем меньше света проходит), а во втором случае измеряется свет от источника, отражающийся от фильтра, через который предварительно были пропущены ОГ (чем больше дымность ОГ, тем темнее фильтр и, соответственно, меньше света отражается).

Если в технической информации дымность ОГ выражена в массовом содержании сажи в ОГ (г/м^3) или в единицах дымности по шкале Bosch (BSU), для приблизительного перевода этой величины в размерность, используемую в Правилах ЕЭК ООН №24, может быть использована табл. 16.

Соотношение показаний дымомеров различных типов при
измерении дымности ОГ

HSU, %	τ , М ⁻¹	BSU, BSN	Концентрация сажи в ОГ, г/м ³	HSU, %	τ , М ⁻¹	BSU, BSN	Концентрация сажи в ОГ, г/м ³	HSU, %	τ , М ⁻¹	BSU, BSN	Концентрация сажи в ОГ, г/м ³
10	0,25	1,10	0,033	37	1,07	3,20	0,174	64	2,38	4,62	0,395
11	0,27	1,20	0,038	38	1,11	3,26	0,181	65	2,44	4,67	0,406
12	0,30	1,30	0,042	39	1,15	3,31	0,187	66	2,51	4,72	0,416
13	0,32	1,40	0,047	40	1,19	3,37	0,193	67	2,58	4,76	0,428
14	0,35	1,48	0,052	41	1,23	3,42	0,199	68	2,65	4,81	0,439
15	0,38	1,57	0,057	42	1,27	3,47	0,206	69	2,72	4,86	0,450
16	0,41	1,67	0,062	43	1,31	3,53	0,213	70	2,80	4,91	0,462
17	0,43	1,75	0,066	44	1,35	3,59	0,220	71	2,88	4,96	0,475
18	0,46	1,84	0,071	45	1,39	3,64	0,227	72	2,96	5,01	0,489
19	0,49	1,93	0,076	46	1,43	3,70	0,234	73	3,04	5,07	0,501
20	0,52	2,02	0,081	47	1,48	3,75	0,241	74	3,13	5,12	0,514
21	0,55	2,10	0,086	48	1,52	3,80	0,248	75	3,22	5,17	0,529
22	0,58	2,18	0,091	49	1,57	3,86	0,256	76	3,32	5,23	0,544
23	0,61	2,26	0,096	50	1,61	3,91	0,264	77	3,42	5,28	0,559
24	0,64	2,34	0,101	51	1,66	3,96	0,272	78	3,52	5,34	0,575
25	0,67	2,42	0,106	52	1,71	4,01	0,281	79	3,63	5,40	0,591
26	0,70	2,50	0,111	53	1,76	4,07	0,290	80	3,74	5,45	0,609
27	0,73	2,57	0,117	54	1,81	4,12	0,299	81	3,86	5,51	0,626
28	0,76	2,64	0,122	55	1,86	4,17	0,308	82	3,99	5,57	0,648
29	0,80	2,71	0,127	56	1,91	4,22	0,317	83	4,12	5,65	0,669
30	0,83	2,77	0,133	57	1,96	4,27	0,326	84	4,26	5,72	0,691
31	0,86	2,83	0,138	58	2,02	4,32	0,335	85	4,41	5,80	0,712
32	0,90	2,89	0,144	59	2,07	4,37	0,345	86	4,57	5,87	0,737
33	0,93	2,96	0,150	60	2,13	4,42	0,355	87	4,74	5,95	0,760
34	0,97	3,02	0,156	61	2,19	4,47	0,365	88	4,93	6,04	0,786
35	1,00	3,08	0,162	62	2,25	4,52	0,375	89	5,13	6,13	0,815
36	1,04	3,14	0,168	63	2,31	4,57	0,385	90	5,35	6,22	0,844

3.2.2.11. Измерение концентрации сажи

Элементарный углерод (сажа) – это компонент выбросов, который образуется непосредственно в процессе сгорания топлива в ДВС. Для быстрого определения концентрации сажи в ОГ используется микро-датчик сажи.

Микродатчик сажи (англ. *Micro Soot Sensor, MSS*) представляет собой фотоакустический детектор, который измеряет концентрацию сажи в ОГ. Отбор пробы ОГ производится через измерительную ячейку, через которую пропускают модулированный лазерный луч. Длина волны этого луча точно соответствует тому, что поглощается углеродом. Поглощённый сажевыми частицами лазерный луч нагревает их, тепло передаётся окружающим молекулам газа, создавая звуковую волну, которая регистрируется микрофоном (рис. 49). Измерительная камера специально разработана для усиления звуковой волны с помощью резонанса. Это делает MSS высокочувствительным и быстрым детектором для измерения массовой концентрации сажи [мг/м^3] в ОГ на неустановившихся режимах работы ДВС.

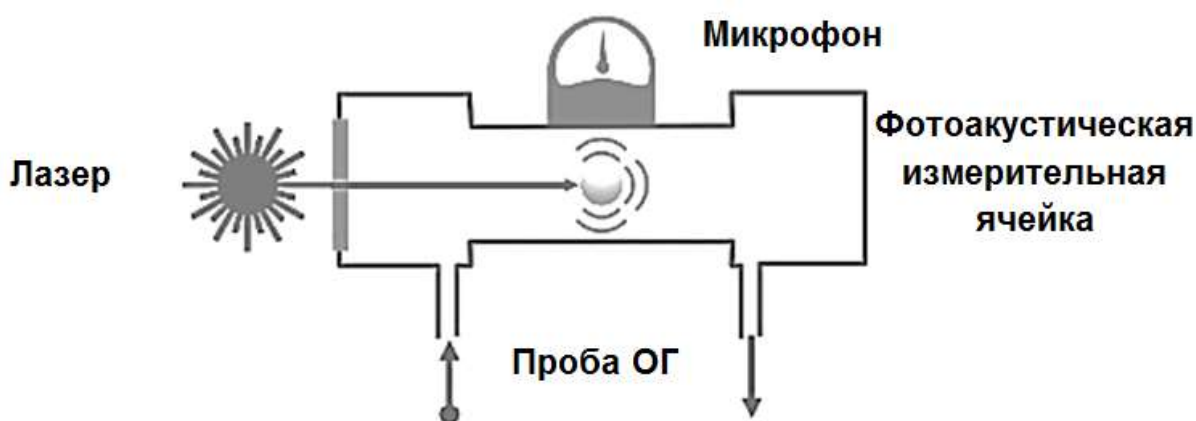


Рис. 49. Схема фотоакустического датчика для измерения сажевых частиц
(Источник: фирма AVL)

Отбор проб может производиться непосредственно из разбавленных выхлопных газов (например, в системе CVS или PFD), а также из неразбавленных ОГ. При отборе проб из неразбавленных ОГ необходимое разбавление производится самим устройством.

Принцип фотоакустического измерения также используется для определения выбросов чёрного углерода (англ. *Black Carbon, BC*) на неустановившихся режимах работы ДВС.

MSS-датчик используется также и в переносных системах измерения выбросов (ПСИВ) для определения массы выбросов ДЧ. С его помощью измеряется и записывается график изменения концентрации сажи в течение испытательной процедуры. Сажа является лишь одним из компонентов ДЧ. Поэтому одновременно используется обычный метод осаждения ДЧ на фильтре, который даёт только один общий результат за весь тест. После этого рассчитывается поправочный коэффициент между общим количеством ДЧ и интегрированным значением мгновенных значений выбросов сажи. С помощью этого поправочного коэффициента значения графика мгновенных концентраций сажи пересчитываются и уже представляют собой графики мгновенных концентраций ДЧ, используемые для расчёта результатов дорожных испытаний АТС.

3.3. Шумомеры

3.3.1. Общие сведения

Шумомер – прибор для объективного измерения уровня звука.

Шумомер содержит микрофон, усилитель, корректирующие фильтры, детектор, интегратор (для интегрирующих шумомеров) и индикатор.

Шумомер в целом представляет собой сочетание микрофона¹ (микрофонного капсуля и предусилителя), устройства обработки сигналов и устройства отображения.

Устройство обработки сигналов включает в себя комбинированные функции усилителя с нормированной частотной характеристикой, блока формирования квадрата частотно скорректированного, зависящего от времени звукового давления, а также временного интегратора или блока усреднения во времени.

Под устройством отображения понимается устройство физического и визуального представления либо сохранения результатов измерения.

Поскольку электрический сигнал на выходе с микрофона пропорционален исходному звуковому сигналу, прирост уровня звукового

¹ Микрофон – электроакустический преобразователь, например, конденсаторного типа, с помощью которого из акустических колебаний получают электрический сигнал.

давления, воздействующего на мембрану микрофона, вызывает соответствующий прирост напряжения электрического тока на входе в устройство обработки сигналов, что и отображается посредством индикаторного устройства, отградуированного в децибелах.

Для измерения уровней звукового давления в контролируемых полосах частот, например, 31,5; 63; 125 Гц и т.п., а также для измерения уровней звука (дБА), скорректированных по шкале А с учётом особенностей восприятия человеческим ухом звуков разных частот, сигнал после выхода с микрофона (но до входа в усилитель) пропускают через соответствующие электрические фильтры.

Общая схема шумомера выбирается так, чтобы его свойства приближались к свойствам человеческого уха.

Поскольку чувствительность уха зависит как от частоты звука, так и от его интенсивности, в шумомерах используются несколько комплектов фильтров, отвечающих разной интенсивности шума. Данные фильтры позволяют имитировать амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) уха при заданной мощности звука. Эти фильтры называются А и С. Их АЧХ приведены в ГОСТ Р 53188.1-2019 (табл. 17). Фильтр А примерно соответствует АЧХ «усреднённого уха» при слабых уровнях шума, С – для оценки пиковых уровней шума.

Таблица 17

Частотные коррекции при оценке уровней звука

Номинальная частота звука, Гц	Частотная коррекция, дБ	
	А	С
31,5	-39,4	-3,0
63	-26,2	-0,8
125	-16,1	-0,2
250	-8,6	0,0
500	-3,2	0,0
1000	0	0
2000	+1,2	-0,2
4000	+1,0	-0,8
8000	-1,1	-3,0
16000	-6,6	-8,5

Помимо требований к АЧХ, стандарты на шумомеры устанавливают требования к параметрам временного усреднения. В шумомерах применяется экспоненциальное усреднение «быстро» (*fast, F*), «медленно» (*slow, S*) и «импульс» (*impulse, I*). Временная константа

характеристики F – 1/8 с, S – 1 с, I – 35 мс. Если уровень звука быстро изменяется, то обычно уровни максимального звукового давления, показываемые шумомером, будут выше, если использовать режим «быстро». Выбор режима зависит от того, какой шум нужно измерить, от цели измерения шума и от требований конкретных стандартов.

Интегрирующие шумомеры имеют также линейное усреднение и измеряют эквивалентные уровни звука, уровни звуковой экспозиции, различные виды дозы шума и пр.

Согласно ГОСТ Р 53188.1-2019, шумомеры разделяются на два класса. Требования для шумомеров 1-го и 2-го класса различаются пределами допусков и диапазоном рабочих температур. Пределы допусков для шумомеров 2-го класса больше или равны пределам допусков для шумомеров 1-го класса.

Для получения точного, корректного результата измерений крайне важно правильно использовать микрофон. Могут использоваться микрофоны разных типов и размеров. Обычно конкретная модель микрофона предназначена для использования в определённых окружающих условиях, и она рассчитана на восприятие звуков определённого диапазона частот и громкости (звукового давления). Кроме того, некоторые микрофоны должны быть направлены на источник звука, а другие безразличны к ориентации. Специалист должен изучить руководство по эксплуатации шумомера в отношении того, какие микрофоны (тип, размер, ориентация) допустимы.

3.3.2. Требования к шумомерам

Для измерений шума в ходе экологической сертификации АТС используют ненаправленный высокоточный шумомер 1-го класса. Измерения проводят с использованием частотной коррекции А и времени усреднения «Быстро» («Fast»). Тип шумомера указывают в протоколе испытания.

Шумомер калибруют по уровню звука непосредственно до и после каждой серии испытаний. Если показания прибора, полученные при любой из этих калибровок, отличаются друг от друга более чем на 1 дБ, то испытание считают недействительным.

3.4. Расходомеры

Расходомер – устройство, измеряющее расход жидкого или газообразного вещества, проходящего через данное устройство. Расход вещества бывает объёмным и массовым. Как объём связан с массой, так и объёмный расход связан с массовым через плотность вещества:

$$Q_M = \rho \cdot Q_V, \quad (59)$$

где Q_M – массовый расход, г/с;

ρ – плотность вещества в условиях измерения, г/м³;

Q_V – объёмный расход, м³/с.

Молекулы являются носителями массы вещества. Массовый расход (количество молекул вещества, проходящих через любое поперечное сечение трубопровода в единицу времени) в системе постоянен. При этом плотность (расстояние между молекулами вещества) в разных частях измеряемого вещества изменяется в зависимости от давления и температуры (рабочих условий). Таким образом, объёмный расход сильно зависит от рабочих условий.

Массовый расход важен тогда, когда в центре внимания находится само вещество и необходимо контролировать количество молекул, не обращая внимания на рабочие условия (температура, давление).

Измерение объёмного расхода необходимо в случаях, когда основное внимание уделяется тому, что находится в объёме вещества. Типичные примеры – промышленная гигиена и мониторинг атмосферного воздуха, где необходимо проводить количественную оценку загрязнений в объёме воздуха.

По способу измерения расхода можно выделить две основные группы расходомеров:

- массовые;
- объёмные.

В массовых расходомерах измеряются параметры, определяемые различными физическими взаимодействиями молекул вещества с используемыми в конкретных расходомерах

преобразователями этих взаимодействий в удобную для измерения форму. Преобразователи подразделяются на:

- гравиметрические;
- гидро- или газодинамические (расходомеры перепада давления, вихревые расходомеры, тахометрические расходомеры, кориолисовы расходомеры);
- тепловые;
- электромагнитные;
- ультразвуковые;
- оптические.

В объёмных расходомерах поступающая в прибор жидкость или газ измеряется отдельными, равными по объёму дозами, которые затем суммируются. В зависимости от конструкции и от вида движения рабочего органа расходомеры подразделяются на:

- поршневые;
- шестерёнчатые;
- лопастные.

3.4.1. Измерение расхода топлива

Для измерения расхода топлива при испытаниях автомобилей и двигателей наибольшее распространение получили следующие методы:

- массовый гравиметрический;
- массовый кориолисовый;
- объёмный шестерёнчатый.

Принцип действия **гравиметрического расходомера** показан на рис. 50. Топливо, потребляемое двигателем, берётся из непрерывно взвешиваемого измерительного сосуда. Определение веса топлива осуществляется с помощью ёмкостного датчика перемещения, подключённого к измерительному сосуду с помощью рычага. Калибровочный грузик используется для выполнения процедур проверки точности и калибровки.

Принцип действия **кориолисова расходомера** основан на изменениях фаз механических колебаний U-образной расходомерной

трубки, по которой движется топливо (рис. 51). Топливо проходит через U-образную трубку, которая вибрирует на своей собственной частоте. Эта частота пропорциональна плотности топлива. Поток топлива с определённой массой, движущийся через расходомерную трубку, создаёт кориолисову силу, которая сопротивляется колебаниям расходомерных трубок. Сдвиг фаз колебаний пропорционален величине массового расхода.

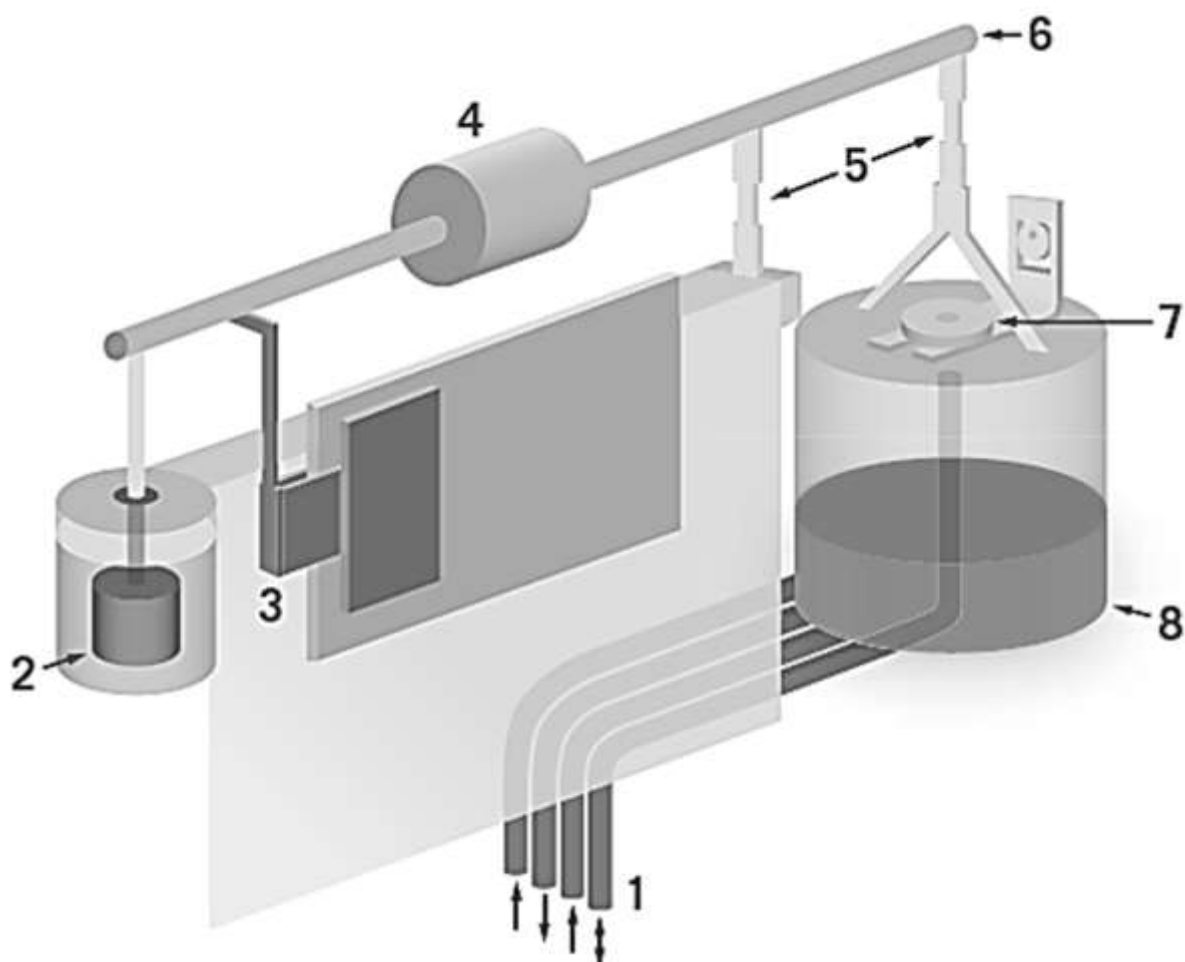


Рис. 50. Схема гравиметрического расходомера: 1 – топливные магистрали; 2 – демпфирующее устройство; 3 – ёмкостной датчик; 4 – компенсатор веса тары; 5 – опора и подвес тары; 6 – измерительный рычаг; 7 – калибровочный груз; 8 – измерительный сосуд (тара) (Источник: фирма AVL)

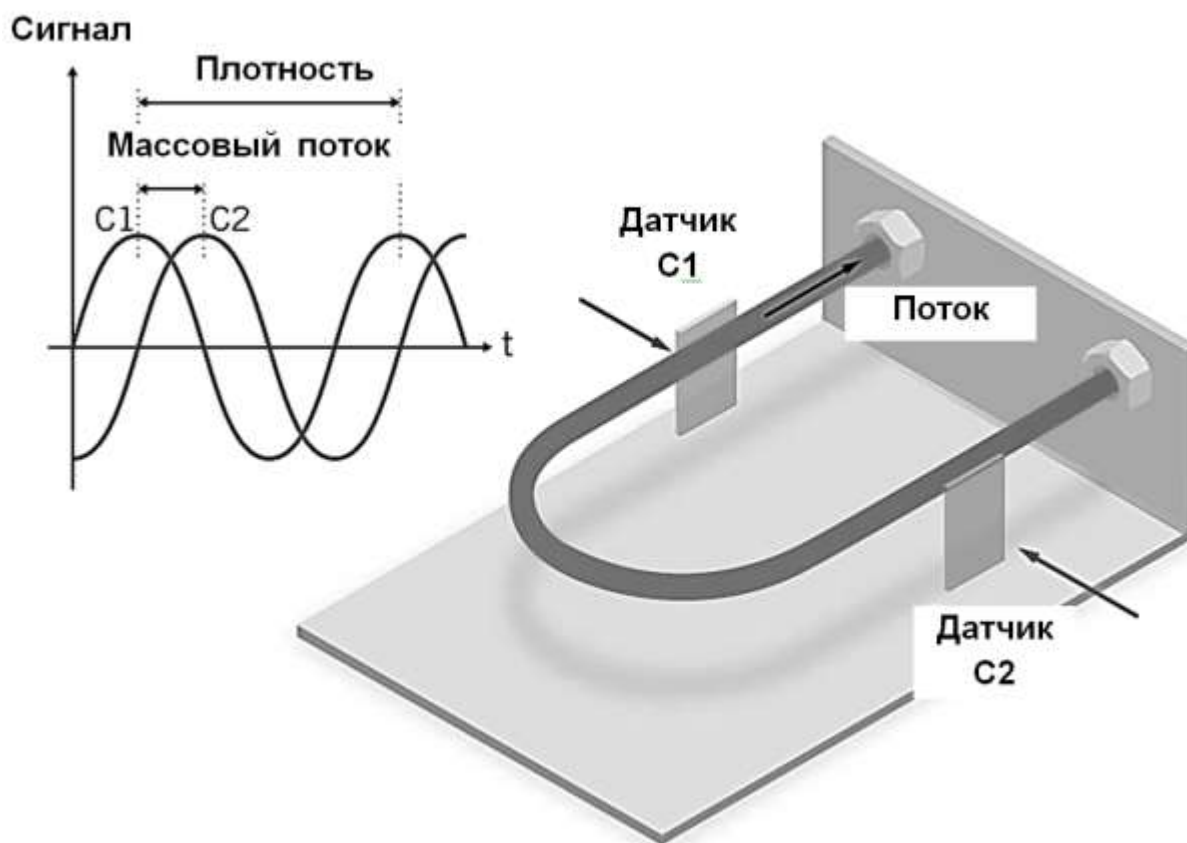


Рис. 51. Схема кориолисова расходомера (Источник: фирма AVL)

В **шестерёнчатом расходомере** (рис. 52) измеритель частоты вращения измерительных шестерён, приводимый в действие серводвигателем с энкодером, определяет отношение геометрического объёма перемещаемого шестернями топлива к частоте импульсов. Частота вращения шестерён регулируется в соответствии с потоком топлива. Байпас обеспечивает нулевую разницу давлений между входом и выходом, предотвращая утечку потока топлива. Изменения потока топлива немедленно перемещают поршень с нулевым трением в каком-либо направлении. Датчик положения поршня и сервоконтроллер составляют быстрый контур управления скоростью вращения шестерён с целью удержания поршня в центре. Скорость вращения шестерён в этом случае прямо пропорциональна объёмному расходу потока топлива.

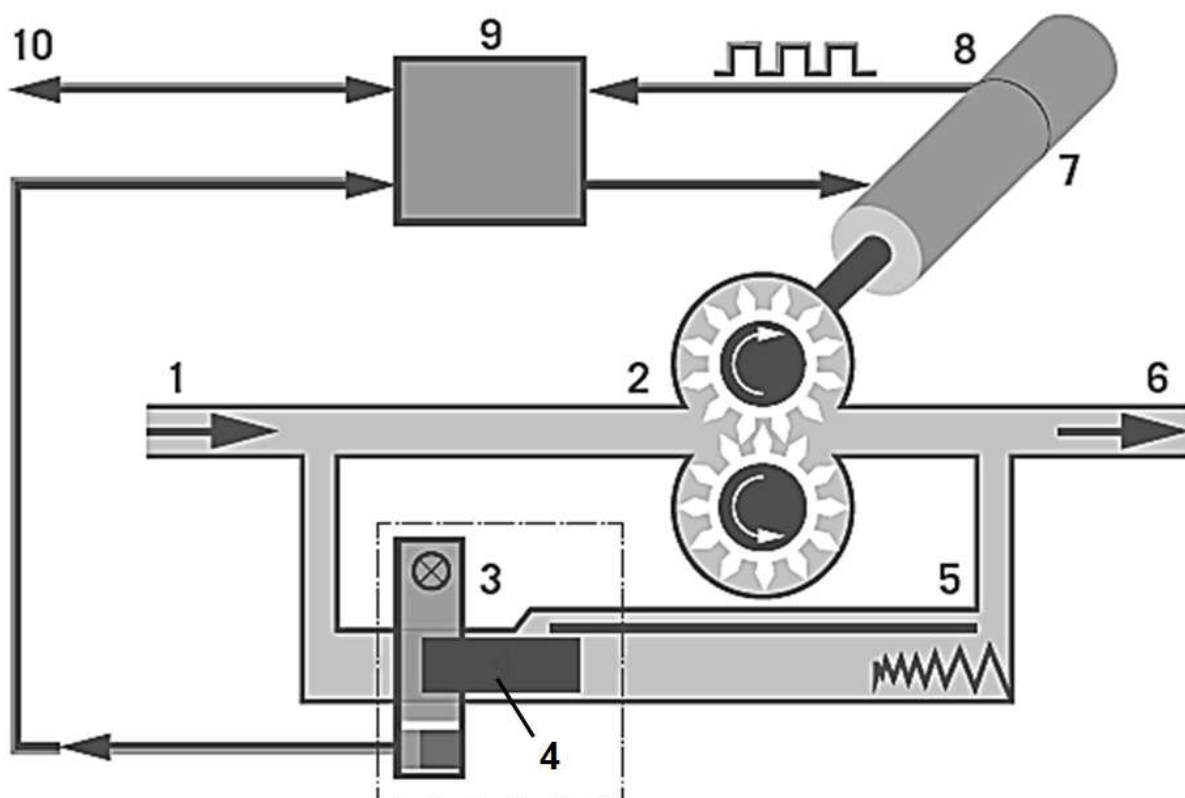


Рис. 52. Схема шестерённого расходомера: 1 – входная топливная магистраль; 2 – измерительные шестерни; 3 – датчик положения поршня; 4 – поршень; 5 – байпас; 6 – выходная топливная магистраль; 7 – сервопривод; 8 – энкодер (модулятор сигнала); 9 – сервоконтроллер; 10 – выходной сигнал (Источник: фирма AVL)

3.4.2. Измерение расхода воздуха

Для измерения расхода воздуха или разбавленных ОГ при испытаниях автомобилей и двигателей наибольшее распространение получили следующие методы:

- массовый ультразвуковой;
- объёмный ротационно-лопастной;
- массовый дросселирования потока (перепада давления).

Время-импульсные ультразвуковые расходомеры измеряют разницу во времени прохождения ультразвуковой волны по направлению и против направления измеряемого потока.

Два ультразвуковых сенсора, расположенные по диагонали напротив друг друга, функционируют попеременно как излучатель и как приёмник (рис. 53). Акустический сигнал, поочерёдно генерируемый

обоими сенсорами, ускоряется, когда направлен по потоку, и замедляется, когда направлен против потока. Разница во времени, возникающая вследствие прохождения сигнала по измерительному каналу в обоих направлениях, прямо пропорциональна средней скорости потока, на основании которой можно затем рассчитать расход. А использование нескольких акустических каналов позволяет компенсировать искажения профиля скорости потока.

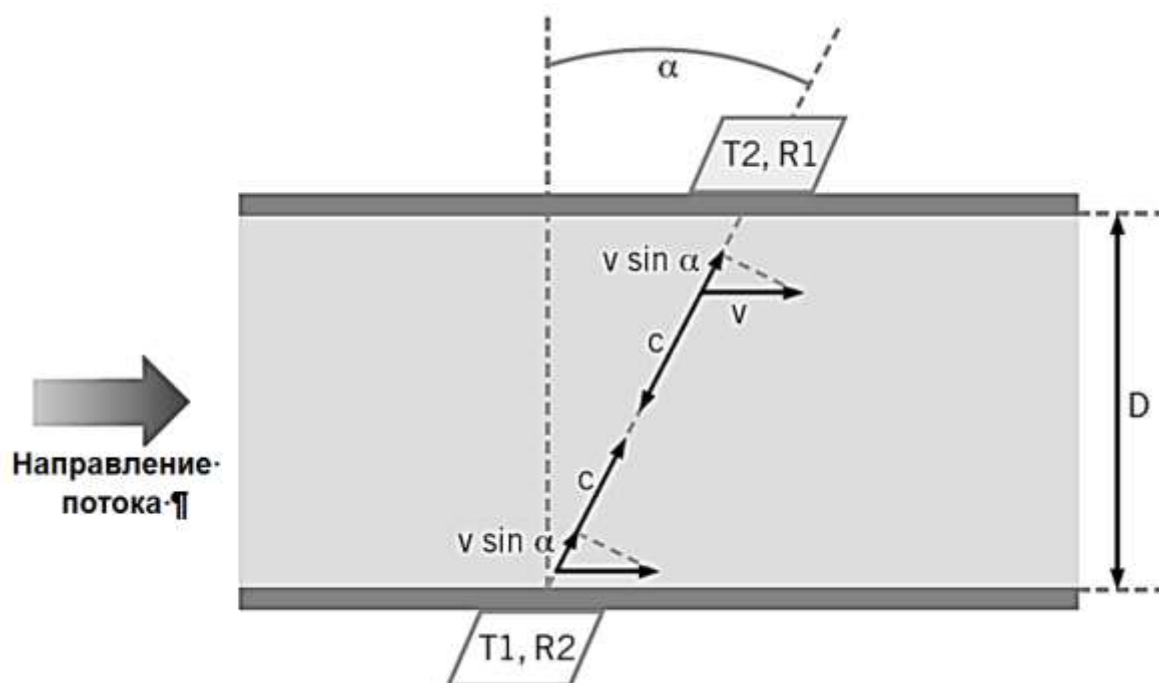


Рис. 53. Схема ультразвукового расходомера: T – излучатель ультразвука; R – приёмник; c – скорость звука; v – скорость потока; α – угол наклона направления распространения ультразвуковой волны
(Источник: фирма AVL)

В объёмном **ротационно-лопастном расходомере** вращающиеся лопасти отсекают и перемещают порции потока от входа к выходу (рис. 54). Частота вращения лопастей прямо пропорциональна расходу потока.

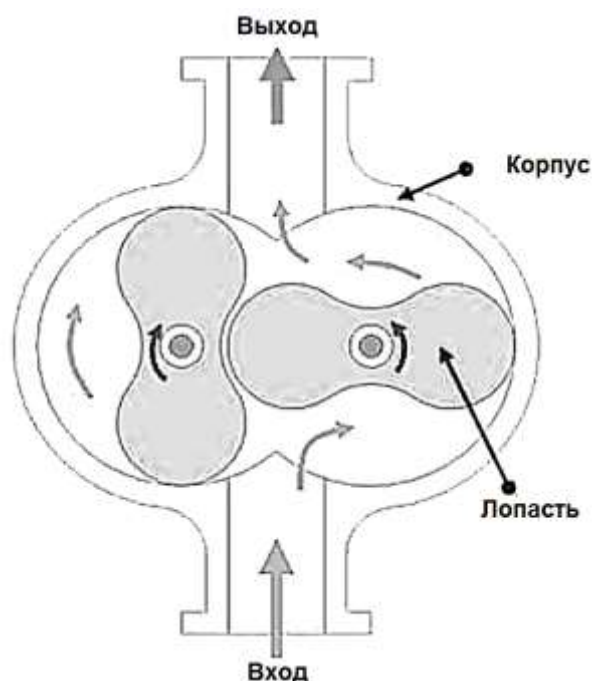


Рис. 54. Схема ротационно-лопастного расходомера

В **дроссельном расходомере** горловина (дроссель) в поперечном сечении трубопровода вызывает падение давления непосредственно за ним, которое измеряется с помощью датчика перепада давления (рис. 55). Форма горловины и размер отверстия могут быть разными, что определяется требованиями к точности измерения и характеристиками измеряемого потока.

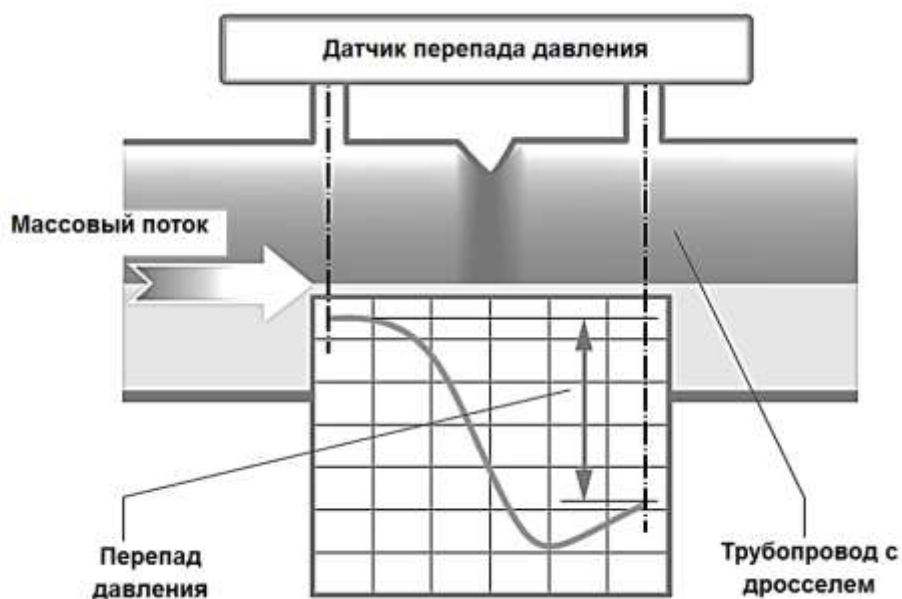


Рис. 55. Схема дроссельного расходомера

Контрольные вопросы и задания к главе 3

1. Приведите классификацию и опишите типичный состав оборудования динамометрических стендов, используемых для экологической сертификации АТС.
2. Приведите классификацию и опишите принцип действия нагрузочно-приводных устройств, которые могут использоваться в составе динамометрических стендов.
3. Опишите принцип действия системы отбора проб непосредственно из потока неразбавленных ОГ.
4. Опишите принцип действия системы отбора проб из разбавленной чистым воздухом части потока ОГ.
5. Опишите принцип действия систем отбора проб из разбавленного чистым воздухом полного потока ОГ.
6. Опишите методы измерения концентрации общих и неметановых углеводородов.
7. Опишите методы измерения концентрации оксидов азота.
8. Опишите метод измерения концентрации оксида и диоксида углерода.
9. Опишите метод измерения концентрации кислорода.
10. Опишите методы измерения концентрации азота закиси и аммиака.
11. Опишите методы измерения массового выброса дисперсных частиц.
12. Опишите методы измерения счётного количества дисперсных частиц.
13. Опишите метод измерения концентрации сажи.
14. Приведите основные характеристики и требования к шумомерам, используемым для экологической сертификации АТС.
15. Опишите методы измерения расхода топлива.
16. Опишите методы измерения расхода воздуха и отработавших газов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шелмаков С.В. Экотранспорт: учеб. Пособие / С.В. Шелмаков. – М.МАДИ, 2018. – 199 с.
2. Улучшение энерго-экологических характеристик автомобилей: учеб. Пособие / С.В. Шелмаков. – М.МАДИ, 2018 – 282 с.
3. ГОСТ 16504-81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.
4. Сводная резолюция о конструкции транспортных средств (СР.3). Документ ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.4 – 27 January 2016.
5. Кутенев В.Ф. Экологическая безопасность автомобилей с двигателем внутреннего сгорания / В.Ф. Кутенев, Б.В. Кисуленко, Ю.В. Шюте. – М.: Экология. Машиностроение, 2009 – 253 с.
6. Кисуленко Б.В. Первые глобальные технические правила – новый этап в обеспечении безопасности автотранспортных средств / Б.В. Кисуленко // Автомобильная промышленность – 2006 №5.
7. World forum for harmonization of vehicle regulation (WP.29) – how it works, how to join it. Published: February 2019. URL: <http://www.unece.org> (Дата обращения: 23.10.202).
8. Ипатов А.А. Глобализация экологических требований к конструкции автотранспортных средств, их производству и эксплуатации // А.А. Ипатов, Б.В. Кисуленко, В.Ф. Кутенев, Ю.В. Шюте // Автомобили и двигатели: Сб. науч. тр. НАМИ. – 2003. – Вып. 231. – С. 3 – 15.
9. ГОСТ Р 52051–2003 Механические транспортные средства и прицепы. Классификация и определения.
10. Райков И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания / учебник для ВУЗов / И.Я. Райков. – М.: Высшая школа, 1975.
11. Engeljehringер K. Emission Handbook V2/1. A Guide to vehicle emission and energy testing. – AVL. – 2021. URL: <http://www.avl.com.emission> (Дата обращения: 26.10.2021).
12. Klímenko O. Dynamic variable volume sampling method for determining mass emission of polluting substances with exhaust gases // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 3/10 (105) 2020. – p. 380.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Правила ЕЭК ООН №40

Категория ТС	Тип ДВС	Контрольная масса (R)	Предельные значения выбросов, г/км			
			СО		ТНС	
			2-тактный	4-тактный	2-тактный	4-тактный
L3, L4, L5	R < 100 кг	СП	16	25	10	7
		СП	20	30	13	10
	100 кг ≤ R ≤ 300 кг	СП	16+24·(R-100)/200	25+25·(R-100)/200	10+5·(R-100)/200	7+3·(R-100)/200
	R > 300 кг	СП	20+30·(R-100)/200	30+30·(R-100)/200	13+8·(R-100)/200	10+4·(R-100)/200
			40	50	15	10
			50	60	21	14

Правила ЕЭК ООН №40. Поправки серии 01

Категория ТС	Тип ДВС	Контрольная масса (R)	Предельные значения выбросов, г/км			
			СО		ТНС	
			2-тактный	4-тактный	2-тактный	4-тактный
L3, L4, L5	R < 100 кг	СП	12,8	17,5	10	4,2
		СП	16	21	13	6
	100 кг ≤ R ≤ 300 кг	СП	12,8+19,2·(R-100)/200	17,5+17,5·(R-100)/200	10+5·(R-100)/200	4,2+1,8·(R-100)/200
	R > 300 кг	СП	16+24·(R-100)/200	21+21·(R-100)/200	13+8·(R-100)/200	6+2,4·(R-100)/200
			32	35	15	6
			40	42	21	8,4

Сокращения:

СП – соответствие производства

Правила ЕЭК ООН №47

Категория ТС	Тип ДВС	Контрольная масса	Предельные значения выбросов		
			CO [г/км]	2-колёсные [г/км]	ТНС [г/км]
L1, L2	ДВСПВ	Любая	2-колёсные	3-колёсные	3-колёсные
			8	15	5
		СП	9,6	18	6,5
					10
					13

Сокращения:

СП – соответствие производства

Правила ЕЭК ООН №49

Категория ТС	Масса ТС	Тип ДВС	Уровень выбросов	Предельные значения удельных выбросов		
				CO	THC	NOx
				[г/кВт·ч]	[г/кВт·ч]	[г/кВт·ч]
M, N	Полная масса > 3500 кг	ДВСВС	-	3,5	18	-

Правила ЕЭК ООН №49. Поправки серии 01

Категория ТС	Масса ТС	Тип ДВС	Уровень выбросов	Предельные значения удельных выбросов							
				CO		THC		NOx		PM	
				[г/кВт·ч]		[г/кВт·ч]		[г/кВт·ч]		[г/кВт·ч]	
				R49	ОСТ	R49	ОСТ	R49	ОСТ	R49	
M, N	Полная масса > 3500 кг	ДВСВС	-	11,2	-	2,4	-	14,4	-	-	-
				12,3	-	2,6	-	15,8	-	-	-
				-	85	-	5	-	17	-	-
		ДВСПВ	ТР ТС ЭК 0								

Правила ЕЭК ООН №49. Поправки серии 02

Категория ТС	Масса ТС	Тип ДВС	Уровень выбросов	Предельные значения удельных выбросов, г/кВт·ч						
				CO		THC		NOx		PM
				[г/кВт·ч]		[г/кВт·ч]		[г/кВт·ч]		[г/кВт·ч]
				R49	ОСТ	R49	ОСТ	R49	ОСТ	R49
M, N	Полная масса > 3500 кг	ДВСВС	A (ТР ТС ЭК 1)	4,5	-	1,1	-	8	-	0,36 (1,02)*
				4,9	-	1,23	-	9	-	0,4
				4	-	1,1	-	7	-	0,15
			B (ТР ТС ЭК 2)	4	-	1,1	-	7	-	0,15
				4	-	1,1	-	7	-	0,15
				-	72	-	4	-	14	-
		ДВСПВ бензиновые	ТР ТС ЭК 1							

Правила ЕЭК ООН №49. Поправки серии 04

Категория ТС	Масса ТС	Тип ДВС	Уровень выбросов	Предельные значения удельных выбросов, г/кВт·ч												Дымность, м ⁻¹
				CO		THC		NMHC		CH ₄		NOx		PM		
				ESC	ETC	ESC	ETC	ESC	ETC	ESC	ETC	ESC	ETC	ESC	ETC	
M, N	Полная масса > 3500 кг	ДВСВС, ДВСПВ газовые	A (ТР ТС ЭК 3)	2,1	5,45	0,66	0,78	1,6	1,6	0,16	0,16	0,1	0,16	0,8		
				1,5	4	0,46	0,55	1,1	1,1	3,5	3,5	0,02	0,03	0,5		
				1,5	4	0,46	0,55	1,1	1,1	2	2	0,02	0,03	0,5		
				1,5	3	0,25	0,4	0,65	0,65	2	2	0,02	0,02	0,15		
				55	-	2,4	-	-	-	10	10	-	-	-		
		ДВСПВ бензиновые	ТР ТС ЭК 3	20	-	1,1	-	-	-	7	7	-				

Правила ЕЭК ООН №49. Поправки серии 05

Категория ТС	Масса ТС	Тип ДВС	Уровень выбросов	Предельные значения удельных выбросов, г/кВт·ч												Дымность, м ⁻¹
				CO		THC		NMHC		CH ₄		NOx		PM		
				ESC	ETC	ESC	ETC	ESC	ETC	ESC	ETC	ESC	ETC	ESC	ETC	
M, N	Контрольная масса > 2610 кг	ДВСВС, ДВСПВ газовые	A B1 (ТР ТС ЭК 4) B1 (БДС) B2 (ТР ТС ЭК 5) B2 (БДС) C (ТР ТС ЭК 5) C (БДС)	2,1	5,45	0,66	0,78	1,6	1,6	0,16	0,16	0,1	0,16	0,8		
				1,5	4	0,46	0,55	1,1	1,1	3,5	3,5	0,02	0,03	0,5		
				-	-	-	-	-	-	7	7	-	-	-		
				1,5	3	0,25	0,4	0,65	0,65	2	2	0,02	0,02	0,15		
				-	-	-	-	-	-	7	7	-	-	-		
		ДВСПВ бензиновые	ТР ТС ЭК 4	4	-	0,55	-	-	-	2	2	-				

Правила ЕЭК ООН №49. Поправки серии 06

Категория ТС	Масса ТС	Тип ДВС	Цикл испытаний	Пределные значения удельных выбросов						
				CO [г/кВт·ч]	THC [г/кВт·ч]	NMHC [г/кВт·ч]	CH ₄ [г/кВт·ч]	NOx [г/кВт·ч]	PM [г/кВт·ч]	PM [ед/кВт·ч]
M, N	Контрольная масса > 2610 кг	ДВСВС	WHSC	1,5	0,13	-	-	0,4	0,01	8·10 ¹¹
			WNTE	2	0,22	-	-	0,6	0,016	
			WNТС	4	0,16	-	-	0,46	0,01	6·10 ¹¹
		ДВСПВ	WNТС (БДС)					1,2	0,025	
			WNТС	4	-	0,16	0,5	0,46	0,01	6·10 ¹¹
			WNТС (БДС)	7,5	-	-	-	1,2	-	

Примечания:

Пределные значения выбросов NMHC и CH₄ установлены только для ДВСПВ, работающих на ПГ.

* – значение в скобках для двигателей мощностью 85 кВт или менее.

** – значения в скобках для двигателей рабочим объемом менее 750 см³ на цилиндр и номинальной частотой вращения более 3000 мин⁻¹.

*** – предельные значения распространяются только на ДВСВС.

Сокращения:

БДС – предельные значения для проверки бортовой диагностической системы

ДВС – двигатель внутреннего сгорания

ДВСВС – двигатель внутреннего сгорания с воспламенением от сжатия

ДВСПВ – двигатель внутреннего сгорания с принудительным воспламенением

СП – предельные значения для проверки соответствия производства

ТС – транспортное средство

ТР ТС ЭК – экологический класс согласно техническому регламенту Таможенного союза 018/2011 "О безопасности колёсных транспортных средств"

Правила № 83. Поправки серии 01 (ТР ТС ЭК 0)

Категория ТС	Класс	Полная Масса ТС (M_R , кг)	Пределные значения выбросов													
			СО		ТНС		НМНС		NOx		ТНС+NOx		PM		PN	
			[мг/км]		[мг/км]		[мг/км]		[мг/км]		[мг/км]		[мг/км]			
			ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС
M1	Все	Все*	2720	2720	-	-	-	-	-	-	970	970	-	140	-	-
			СП	3160	3160	-	-	-	-	-	-	1130	1130	-	180	-

Правила № 83. Поправки серии 02 (ТР ТС ЭК 1)

Категория ТС	Класс	Полная Масса ТС (M_R , кг)	Пределные значения выбросов														
			СО		ТНС		НМНС		NOx		ТНС+NOx		PM		PN		
			[мг/км]		[мг/км]		[мг/км]		[мг/км]		[мг/км]		[мг/км]				
			ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	
M1	Все	Все*	2720	2720	-	-	-	-	-	-	970	970	-	140	-	-	
			СП	3160	3160	-	-	-	-	-	-	1130	1130	-	180	-	-
N1**	I	$M_R \leq 1250$	2720	2720	-	-	-	-	-	-	970	970	-	140	-	-	
			СП	3160	3160	-	-	-	-	-	-	1130	1130	-	180	-	-
			5170	5170	-	-	-	-	-	-	-	1400	1400	-	190	-	-
N1**	II	$1250 < M_R \leq 1700$	6000	6000	-	-	-	-	-	-	1600	1600	-	220	-	-	
			СП	6900	6900	-	-	-	-	-	-	1700	1700	-	250	-	-
			8000	8000	-	-	-	-	-	-	-	2000	2000	-	290	-	-

Правила № 83. Поправки серии 03

Категория ТС	Класс	Полная Масса ТС (M_R , кг)	Пределные значения выбросов														
			СО		ТНС		НМНС		NOx		ТНС+NOx		PM		PN		
			[мг/км]		[мг/км]		[мг/км]		[мг/км]		[мг/км]		[мг/км]				
			ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	
M1	Все	Все*	2200	1000	-	-	-	-	-	-	500	700/900****	-	80/100****	-	-	
			СП	2720	2720	-	-	-	-	-	-	970	970	-	140	-	-
N1**	I	$M_R \leq 1250$	5170	5170	-	-	-	-	-	-	1400	1400	-	190	-	-	
			СП	6900	6900	-	-	-	-	-	-	1700	1700	-	250	-	-
			8000	8000	-	-	-	-	-	-	-	2000	2000	-	290	-	-

Правила № 83. Поправки серии 04 (ТР ТС ЭК 2)

Категория ТС	Класс	Полная Масса ТС (M_R , кг)	Предельные значения выбросов																			
			СО			THC			NMHC			NOx			THC+NOx			PM			PN	
			[мг/км]			[мг/км]			[мг/км]			[мг/км]			[мг/км]			[мг/км]			[ед./км]	
			ПВ	ВС	ПВ-7 °С	ПВ	ВС	ПВ-7 °С	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС
M1	Все	Все*	2200	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	500	700/900***	-	80/100***	-	-	-	
	I	$M_R \leq 1250$	2200	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	500	700/900***	-	80/100	-	-	-	
N1**	II	$1250 \leq M_R \leq 1700$	4000	1250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	1000/1300	-	120/140	-	-	-	
	III	$M_R > 1700$	5000	1500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	700	1200/1600	-	170/200	-	-	-	

Правила № 83. Поправки серии 05. Уровень «А» (ТР ТС ЭК 3)

Категория ТС	Класс	Контрольная Масса ТС (M_R , кг)	Предельные значения выбросов																			
			СО			THC			NMHC			NOx			THC+NOx			PM			PN	
			[мг/км]			[мг/км]			[мг/км]			[мг/км]			[мг/км]			[мг/км]			[ед./км]	
			ПВ	ВС	ПВ-7 °С	ПВ	ВС	ПВ-7 °С	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС
M1	Все	Все	2300	640	15000	200	-	1800	-	-	-	150	500	-	560	-	50	-	-	-	-	
	БДС	БДС	3200	3200	-	400	400	-	-	-	600	1200	-	-	-	-	180	-	-	-	-	
N1	I	$M_R \leq 1305$	2300	640	15000	200	-	1800	-	-	-	150	500	-	560	-	50	-	-	-	-	
	БДС	БДС	3200	3200	-	400	400	-	-	-	600	1200	-	-	-	-	180	-	-	-	-	
N1	II	$1305 \leq M_R \leq 1760$	4170	800	15000	250	-	1800	-	-	180	650	-	720	-	70	-	-	-	-	-	
	БДС	БДС	5800	4000	-	500	500	-	-	-	700	1600	-	-	-	230	-	-	-	-	-	
N2	III	$M_R > 1760$	5220	950	15000	290	-	1800	-	-	210	780	-	860	-	100	-	-	-	-	-	
	БДС	БДС	7300	4800	-	600	600	-	-	-	800	1900	-	-	-	280	-	-	-	-	-	
N2	Все	Все	5220	950	15000	290	-	1800	-	-	210	780	-	860	-	100	-	-	-	-	-	
	БДС	БДС	7300	4800	-	600	600	-	-	-	800	1900	-	-	-	280	-	-	-	-	-	

Правила № 83. Поправки серии 05. Уровень «В» (ТР ТС ЭК 4)

Категория ТС	Класс	Контрольная Масса ТС (M _R , кг)	Предельные значения выбросов																	
			CO		THC		NMHC		NOx		THC+NOx		PM		PN					
			ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС		
M1	Все	БДС	1000	500	15000	100	-	1800	-	80	250	-	300	-	25	-	-	-		
			3200	3200	-	400	400	-	600	1200	-	-	180	-	-	-	-	-	-	
N1	I	M _R ≤ 1305	1000	500	15000	100	-	1800	-	80	250	-	300	-	25	-	-	-		
			3200	3200	-	400	400	-	600	1200	-	-	180	-	-	-	-	-	-	
	II	1305 ≤ M _R ≤ 1760	1810	630	15000	130	-	1800	-	100	330	-	390	-	40	-	-	-		
N2	Все	БДС	5800	4000	-	500	500	-	700	1600	-	-	230	-	-	-	-	-		
			2270	740	15000	160	-	1800	-	110	390	-	460	-	60	-	-	-	-	
N2	Все	БДС	7300	4800	-	600	600	-	800	1900	-	-	280	-	-	-	-	-		
			2270	740	15000	160	-	1800	-	110	390	-	460	-	60	-	-	-	-	
N2	Все	БДС	7300	4800	-	600	600	-	800	1900	-	-	280	-	-	-	-	-		
			2270	740	15000	160	-	1800	-	110	390	-	460	-	60	-	-	-	-	

Правила ЕЭК ООН №83. Поправки серии 06 (ТР ТС ЭК 5)

Категория ТС	Класс	Контрольная Масса ТС (M _R , кг)	Предельные значения выбросов																	
			CO		THC		NMHC		NOx		THC+NOx		PM		PN					
			ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС		
M1	Все	БДС	1000	500	15000	100	-	1800	68	-	60	180	-	230	4,5	4,5	-	6*10 ¹¹		
			1900	1900	-	-	-	250	320	300	540	-	-	50	50	-	-	-	-	
N1	I	M _R ≤ 1305	1000	500	15000	100	-	1800	68	-	60	180	-	230	4,5	4,5	-	6*10 ¹¹		
			1900	1900	-	-	-	250	320	300	540	-	-	50	50	-	-	-	-	
	II	1305 ≤ M _R ≤ 1760	1810	630	24000	130	-	2700	90	-	75	235	-	295	4,5	4,5	-	6*10 ¹¹		
N2	Все	БДС	3400	2400	-	-	-	330	360	375	705	-	-	50	50	-	-	-		
			2270	740	30000	160	-	3200	108	-	82	280	-	350	4,5	4,5	-	6*10 ¹¹		
N2	Все	БДС	4300	2800	-	-	-	400	400	410	840	-	-	50	50	-	-	-		
			2270	740	30000	160	-	3200	108	-	82	280	-	350	4,5	4,5	-	6*10 ¹¹		
N2	Все	БДС	4300	2800	-	-	-	400	400	410	840	-	-	50	50	-	-	-		
			2270	740	30000	160	-	3200	108	-	82	280	-	350	4,5	4,5	-	6*10 ¹¹		
N2	Все	БДС	4300	2800	-	-	-	400	400	410	840	-	-	50	50	-	-	-		
			2270	740	30000	160	-	3200	108	-	82	280	-	350	4,5	4,5	-	6*10 ¹¹		

Правила ЕЭК ООН №83. Поправки серии 07

Категория ТС	Класс	Контрольная Масса ТС (M _k , кг)	Предельные значения выбросов																	
			CO		THC		NMHC		NOx		THC+NOx		PM		PN					
			[мг/км]		[мг/км]		[мг/км]		[мг/км]		[мг/км]		[мг/км]		[ед./км]					
			ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС	ПВ	ВС				
M	Все	БДС	1000	500	100	-	1800	68	-	60	80	-	170	4,5	4,5	6*10 ⁻¹¹	6*10 ⁻¹¹			
			1900	1750	-	-	-	170	290	90	140	-	-	12	12	-	-			
N1	I	M _k ≤ 1305	1000	500	100	-	1800	68	-	60	80	-	170	4,5	4,5	6*10 ⁻¹¹	6*10 ⁻¹¹			
			1900	1750	-	-	-	170	290	90	140	-	-	12	12	-	-			
	II	1305 ≤ M _k ≤ 1760	1810	630	130	-	2700	90	-	75	105	-	195	4,5	4,5	6*10 ⁻¹¹	6*10 ⁻¹¹			
			3400	2200	-	-	-	225	320	110	180	-	-	12	12	-	-			
III	M _k > 1760	БДС	2270	740	160	-	3200	108	-	82	125	-	215	4,5	4,5	6*10 ⁻¹¹	6*10 ⁻¹¹			
			4300	2500	-	-	-	270	350	120	220	-	-	12	12	-	-			
N2	Все	БДС	2270	740	160	-	3200	108	-	82	125	-	215	4,5	4,5	6*10 ⁻¹¹	6*10 ⁻¹¹			
			4300	2500	-	-	-	270	350	120	220	-	-	12	12	-	-			

Примечания:

Предельные значения PM и PN для ДВСПВ распространяются только на ДВСПВ с непосредственным впрыском топлива.

* – За исключением АТС высокой проходимости, АТС, имеющих полную массу более 2,5 т и АТС, имеющих более 6 мест, включая водителя.

** – Включая те АТС категории M1, которые указаны в сноске *

*** – Значения в знаменателе для АТС, оснащённых дизельным двигателем с прямым впрыском топлива.

Сокращения:

БДС – предельные значения выбросов для срабатывания бортовой диагностической системы

ПВ – принудительное воспламенение

ВС – воспламенение от сжатия

ТС – транспортное средство

СП – предельные значения для проверки соответствия производства