



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

Кафедра промышленно-транспортной экологии

Утверждаю
Зав. кафедрой, профессор
_____ Ю.В.Трофименко
« _____ » _____ 2000 г.

С.В. Шелмаков

**Методические указания
к курсовой работе:**

**«Оценка пробеговых выбросов автотранспортных средств в
эксплуатации»**

Москва 2000 г.

УДК
БК

Введение

Рост числа автотранспортных средств (АТС) во всём мире сопровождается возникновением и обострением разнообразных экологических проблем. Проблема загрязнения воздуха наиболее актуальна для крупных городов, где на долю автотранспорта приходится до 60 – 90% количества выбросов таких загрязняющих веществ как оксид углерода (СО), углеводороды (СН), оксиды азота (NO_x) и твердые частицы (ТЧ). Концентрация этих загрязнителей в воздухе вблизи городских магистралей довольно часто превышает допустимые санитарные нормы в несколько раз.

Угроза, которую несут эти загрязнители для здоровья человека и окружающей среды, осознана обществом ещё в середине XX века. Именно в 1950 – 1970-х годах в промышленно развитых странах впервые были приняты законодательные акты, ограничивающие предельно допустимые уровни автомобильных выбросов. В этих же документах регламентировались и методики оценки количества выбросов.

Существующие в настоящее время нормативные методики оценки выбросов АТС можно разделить на две группы. По методикам первой группы испытывают новые модели АТС для получения официального утверждения типа конструкции (сертификации).

Методики второй группы регламентируют условия испытаний АТС, находящихся в эксплуатации, при контрольных проверках, после технического обслуживания и текущего ремонта.

При официальном утверждении типа АТС (или сертификации) автомобиль испытывают по специальной методике, стараясь приблизить режимы испытаний к реальным режимам движения. Во время испытаний осуществляется постоянный количественный и качественный анализ отработавших газов (ОГ), что позволяет определить массу выбросов нормируемых загрязняющих веществ (ЗВ) за всю испытательную процедуру. Затем рассчитываются значения пробеговых выбросов, т.е. масс выброса каждого загрязнителя, приходящихся в среднем на 1 км пробега АТС. Это

обеспечивает получение наиболее достоверной информации об экологических качествах автомобиля, однако требует сложного оборудования и больших затрат.

Основным требованием, предъявляемым к экспресс-методам оценки токсичности отработавших газов АТС в эксплуатации, является дешевизна и скорость проведения испытаний. К сожалению, информативность результатов таких проверок крайне низкая.

Для АТС с бензиновыми двигателями, согласно ГОСТ 17.2.2.03-87, проверяют объёмную концентрацию СО и СН в ОГ автомобиля на холостом ходу с минимальными и повышенными оборотами коленчатого вала двигателя. Контрольная проверка АТС с дизельными двигателями согласно ГОСТ 21393-75 сводится к измерению дымности ОГ на режиме холостого хода с максимальной частотой вращения коленчатого вала и режиме «свободного ускорения» двигателя.

Весомость данных режимов при движении АТС по городу составляет 20...30% по времени и еще меньше – по массе выбросов. Остальное количество ЗВ выбрасывается, когда автомобиль либо разгоняется, либо движется с постоянной скоростью, либо замедляется. При контрольных проверках токсичности выхлопа эти режимы остаются неучтенными.

Кроме этого, режим холостого хода является совершенно непредставительным, когда речь идет о выбросах NO_x . А ведь именно по концентрациям данных соединений наблюдается наибольшее превышение санитарных норм качества воздуха в городах (вблизи магистралей в «часы пик» концентрация NO_x в воздухе в 10 и более раз превышает предельно допустимую концентрацию - ПДК).

Таким образом, методики сертификационных (при утверждении типа) и контрольных (в эксплуатации) испытаний АТС на токсичность выхлопа в настоящее время не имеют между собой ничего общего. Это, как показывают исследования Агентства по охране окружающей среды США [1], приводит к тому, что при контрольных проверках

происходят ошибки недорегулирования и перерегулирования. Ошибка недорегулирования возникает тогда, когда АТС выдерживает (т.е. полученные в ходе испытаний результаты не превышают допустимые нормы) контрольные испытания, но не выдерживает сертификационные. И, наоборот, ошибка перерегулирования наступает тогда, когда АТС не выдерживает контрольные испытания, но выдерживает сертификационные.

До недавнего времени такое положение считалось приемлемым компромиссом. Однако в связи с ухудшением качества воздуха во всех крупных городах, вызванным резким ростом автомобильного парка, ситуация изменилась. Сейчас, как никогда ранее, требуется объективная информация о количествах загрязнителей, выбрасываемых в атмосферу автотранспортом. Без такой информации невозможно ни прогнозировать будущую экологическую ситуацию, ни управлять ею. Более того, неверные (или неполные) исходные данные, как известно, могут привести к выработке неадекватных управляющих воздействий. А в области защиты окружающей среды это чревато ухудшением здоровья населения, деградацией природы и другими опасными последствиями.

Необходимо внедрять в практику методики контрольных проверок, позволяющие получать более информативные экологические показатели АТС, а также обеспечивающие логическую связь с сертификационными методами испытаний.

Алгоритм оценки пробеговых выбросов АТС в эксплуатации

Идея повышения информативности контрольных испытаний достаточно проста: совместно с режимом холостого хода следует проводить замеры концентраций вредных веществ в ОГ и на нескольких режимах частичных нагрузок. Для реализации этих режимов могут использоваться нагрузочные стенды с беговыми барабанами. Такие стенды используются в настоящее время для проверки тягово-скоростных свойств и топливной экономичности АТС после проведения технического обслуживания и ремонта. Основным отличием этих стендов от динамометрических (используемых при

сертификационных испытаниях) является отсутствие инерционных масс, позволяющих имитировать разгон и замедление автомобиля. Кроме того, такие стенды гораздо дешевле динамометрических.

Таким образом, на тяговом стенде можно имитировать только установившееся движение автомобиля. Однако число и параметры режимов частичных нагрузок могут (и должны) выбираться таким образом, чтобы отражать картину реального распределения режимов работы двигателя в процессе движения АТС по сертификационному ездовому циклу. Это обеспечит связь между методикой контрольных проверок и методикой сертификационных испытаний, а также значительно повысит информативность контрольных проверок токсичности ОГ с минимальными затратами.

В данной курсовой работе в качестве сертификационных режимов движения используются ездовые циклы в соответствии с требованиями Правил №83 ЕЭК ООН – документом, содержащим нормы и методы испытаний на уровень выбросов легковых автомобилей в Европе.

После определения набора стационарных режимов частичных нагрузок, условно эквивалентных сертификационным условиям испытаний АТС (именуемых в дальнейшем – эквивалентных режимов), производятся замеры концентраций загрязнителей в ОГ на каждом из этих режимов. Кроме концентраций, измеряются параметры, необходимые для определения объёмного расхода отработавших газов.

Данная курсовая работа носит расчетный характер, поэтому экспериментальные данные в ней задаются в виде таблиц условных вариантов. Используя данные этих таблиц, студенты вычисляют необходимые параметры в соответствии с рассчитанными на первом этапе режимами испытаний.

На последнем этапе проводится расчет средних пробеговых выбросов АТС. Определение пробеговых выбросов по результатам измерений концентраций и объёмного расхода ОГ на эквивалентных режимах становится возможным благодаря наличию связи этих

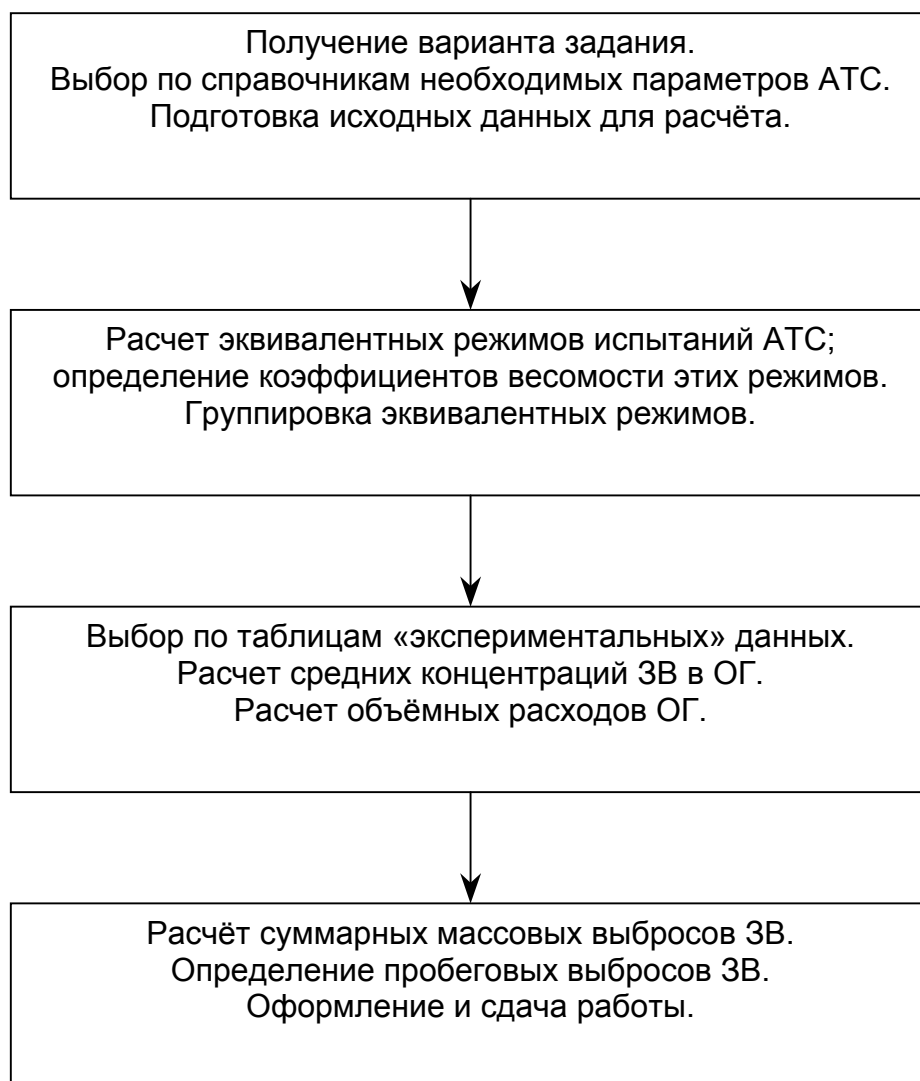


Рис. 1. Последовательность выполнения курсовой работы

режимов с сертификационными условиями испытаний. Сначала, используя коэффициенты весомости (связи), рассчитываются массовые выбросы загрязнителей за весь период испытаний, а затем они делятся на путь сертификационного ездового цикла. Полученные величины и являются пробеговыми выбросами.

Последовательность выполнения курсовой работы схематически изображена на рис. 1.

Исходные данные для работы

Условия эксплуатации АТС определяются дорожными условиями, природно-климатическими условиями и транспортными

условиями [2]. В курсовой работе используются характеристики стандартных условий эксплуатации, регламентированные для испытаний легковых автомобилей на токсичность отработавших газов. Данные испытания проводятся на динамометрическом стенде, имитирующем сопротивление движению АТС по горизонтальной дороге в безветренную погоду при температуре 20°C и давлении 760 мм.рт.ст.

Типичные режимы движения автомобиля задаются ездовым циклом, состоящим из этапов холостого хода, разгона, установившегося движения, замедления и торможения.

Количество эквивалентных режимов определяется исходя из анализа графика ЕЦ. Каждый этап разгона в ЕЦ представляется числом точек, соответствующих числу используемых при разгоне ступеней коробки передач. Каждый этап равномерного движения представляется одной точкой, а этапы холостого хода и замедления – точкой холостого хода. Городской ездовой цикл по Правилам №83 ЕЭК ООН (рис. 2) в соответствии с предлагаемой методикой представляется 12-ю режимами, параметры которых приведены в табл. 1.

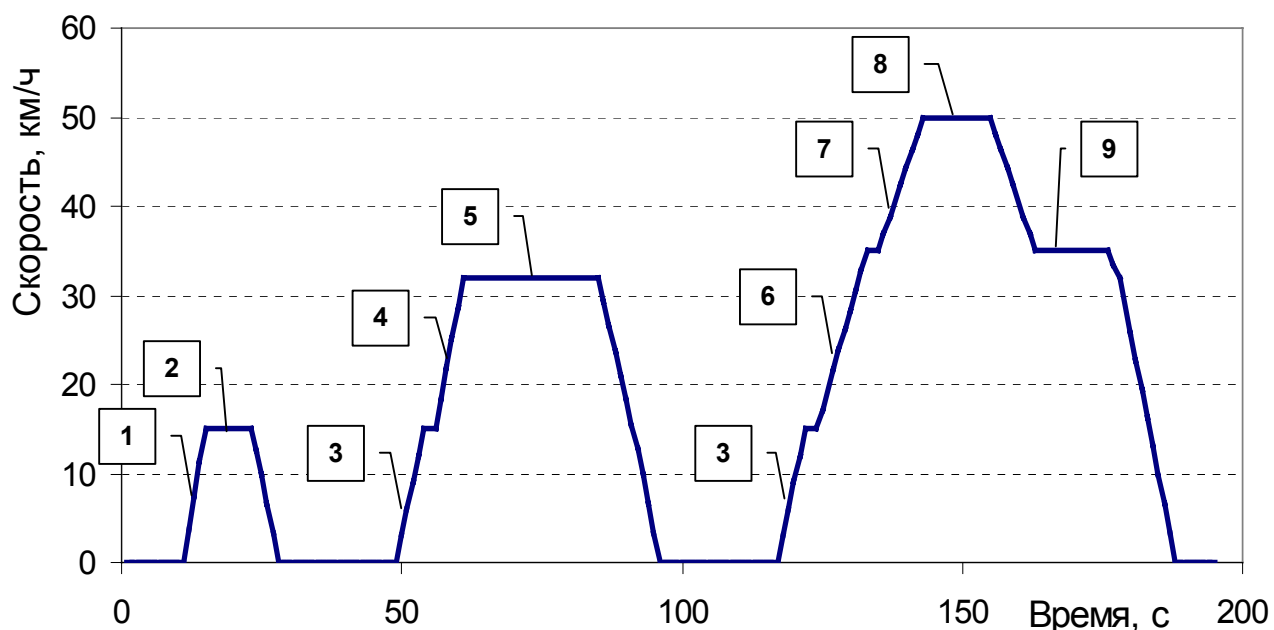


Рис. 2. Городской ездовой цикл по Правилам №83 ЕЭК ООН

Таблица 1

Этапы городского ездового цикла по Правилам № 83 ЕЭК ООН.

№	Наименование этапа	Скорость, км/ч	Ускорение, м/с ²	Длительность с	Степень КП
1	Разгон	0-15	1,04	4	1
2	Равномерное движ.	15	-	8	1
3	Разгон	0-15	0,83	5+5=10	1
4	Разгон	15-32	0,94	5	2
5	Равномерное движ.	32	-	24	2
6	Разгон	15-35	0,62	9	2
7	Разгон	35-50	0,52	8	3
8	Равномерное движ.	50	-	12	3
9	Равномерное движ.	35	-	13	3
10	Холостой ход n_{\min}	-	-	77	-
11	Холостой ход $n_{\text{пов}}$	-	-	25	-

Поскольку режимы разгона на первой передаче с ускорением $0,83 \text{ м/с}^2$ повторяются в ЕЦ дважды, то в таблице они представлены одной строкой с их суммарной продолжительностью (строка №3). Четыре этапа холостого хода, а также три этапа выбега АТС представлены одним режимом холостого хода с минимальными оборотами коленчатого вала двигателя n_{\min} (строка №10). Три этапа принудительного холостого хода во время замедления АТС представлены режимом холостого хода с повышенными оборотами коленчатого вала двигателя (строка №11).

Следует помнить, что методика определения эквивалентных режимов базируется на следующих допущениях, связанных со спецификой испытательного оборудования (тягового стенда):

- неустановившиеся режимы разгонов АТС заменяются установившимися режимами испытаний на тяговом стенде;
- режимы принудительного холостого хода заменяются режимом холостого хода с повышенными оборотами коленчатого вала двигателя.

При расчете эквивалентных режимов кроме характеристик ездового цикла необходимо знать некоторые параметры конструкции автомобиля. Пример исходных данных для автомобиля УАЗ 3303 представлен в табл. 2.

Таблица 2

Параметры конструкции АТС, необходимые для расчета

Наименование параметра	Значение (УАЗ-3303)
Снаряженная масса, кг	2510
Полная масса, кг	3570
Коэффициент обтекаемости c_x	0,46
Площадь Миделя, m^2	4,9
Передаточные числа:	
Главной передачи	5,5
Первой ступени КП	5,2
Второй ступени КП	3,1
Третьей ступени КП	1,7
Четвертой ступени КП	1
Обороты холостого хода двигателя, $мин^{-1}$	700
Номинальная мощность двигателя, кВт	70
Обороты номинальной мощности, $мин^{-1}$	4600
Максимальный крутящий момент, Нм	186,3
Обороты максимального момента, $мин^{-1}$	3500
Рабочий объём двигателя, m^3	$2,4 \cdot 10^{-3}$
Статический радиус колеса, м	0,364

Приведенные в табл. 2 параметры конструкции АТС выбираются студентами из справочников и каталогов (например, «Краткого автомобильного справочника НИИАТ», журналов “За рулём” или “Авторевю”), в соответствии с вариантом задания.

При отсутствии реальных значений коэффициента обтекаемости автомобиля c_x , следует использовать данные, приведенные в табл. 3.

Таблица 3

Ориентировочные значения c_x для разных типов АТС.

Тип АТС	c_x
Легковые АТС:	
• С кузовом типа «седан»	0,36...0,50
• С кузовом типа «хэтчбек»	0,34...0,45
• С кузовом типа «универсал»	0,35...0,52
• С кузовом типа «пикап»	0,45...0,65
Спортивные автомобили	0,23...0,30

Примечание: Меньшие значения из диапазона относятся к современным моделям АТС, большие значения – к старым моделям.

Площадь лобового сопротивления (Миделя) для легковых АТС приближенно оценивается по формуле [3]:

$$F=0,81B_eH_e \quad (1)$$

где B_e – габаритная ширина автомобиля, м;

H_e – габаритная высота автомобиля, м.

В заключение этапа подготовки исходных данных следует задаться расчетной массой АТС и определить коэффициент учёта вращающихся масс для каждой ступени коробки передач.

Обычно при стандартных испытаниях легковых АТС за расчетную массу m_a принимают значение снаряженной массы $m_{сн}$, увеличенной на 100 кг:

$$m_a = m_{сн} + 100. \quad (2)$$

Для определения силы сопротивления разгону автомобиля (силы инерции) необходимо знать не только массу поступательно движущихся частей АТС, но и моменты инерции вращающихся частей трансмиссии и двигателя. Обычно это учитывают при помощи коэффициента вращающихся масс $\delta_{вр}$. Для одиночных АТС при их номинальной нагрузке без большой погрешности можно считать [2]:

$$\delta_{врi} = 1 + 0,04 \cdot u_{ki}^2 + 0,04, \quad (3)$$

где $\delta_{вpi}$ – коэффициент учёта вращающихся масс при движении на i -той передаче;

u_{ki} – передаточное отношение i -той ступени коробки передач.

Для автомобилей, расчетная масса m_a которых отличается от номинальной m_n , последние два слагаемых в этой формуле следует умножить на отношение $\frac{m_n}{m_a}$. В этом случае для одиночных АТС

имеем:

$$\delta_{вpi} = 1 + \frac{m_n}{m_a} (0,04 \cdot u_{ki}^2 + 0,04) \quad (4)$$

Расчет эквивалентных режимов

Каждый эквивалентный режим определяется совокупностью двух показателей: скоростью движения АТС и мощностью сопротивления движению АТС. Скорость замеряется по частоте вращения беговых барабанов тягового стенда. Мощность сопротивления движению определяется мощностью, рассеиваемой в тормозной установке стенда.

Представление режимов разгона АТС

Разгон на каждой i -той передаче в диапазоне скоростей от $V_{ин}$ (начальная скорость) до $V_{ик}$ (конечная скорость) представляется точкой с параметрами V_{ie} (эквивалентная скорость) и N_{ie} (эквивалентная мощность):

$$V_{ie} = \frac{1}{2} (V_{ин} + V_{ик}) \quad (5)$$

где $V_{ин}$ – начальная скорость разгона на i -той передаче, м/с

$V_{ик}$ – конечная скорость разгона на i -той передаче, м/с.

$$N_{ie} = N_{iv} + N_{iu} \quad (6)$$

где N_{ie} – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха, кВт;

N_{iu} – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления разгона, кВт.

В формулу (6) не включено слагаемое, определяющее мощность, затрачиваемую двигателем АТС на преодоление сопротивления качению колёс. Это связано с тем, что этой формулой определяется только значение мощности, рассеиваемой в тормозной установке тягового стенда, а не суммарной мощности сопротивления движению АТС.

Величину N_{ie} определяют по формуле:

$$N_{ie} = \frac{k_{eF} \cdot V_{ie}^3}{1000} \quad (7)$$

где k_{eF} – фактор обтекаемости автомобиля, кг/м;

V_{ie} – эквивалентная скорость режима испытания, м/с.

Общая формула для фактора обтекаемости АТС [2] k_{bF} , кг/м:

$$k_{bF} = \frac{1}{2} \cdot c_x \cdot \rho_v \cdot F \quad (8)$$

где c_x – безразмерный коэффициент аэродинамической силы;

ρ_v – плотность воздуха, кг/м³ (для стандартных условий¹ $\rho_v=1,225$ кг/м³);

F – площадь Миделя, м².

Величина N_{iu} определяется по формуле:

$$N_{iu} = \frac{m_a \cdot \delta_{ep} \cdot j_a \cdot V_{ie}}{1000} \quad (9)$$

где δ_{ep} – коэффициент учета вращающихся масс автомобиля;

j_a – ускорение автомобиля при разгоне, м/с²;

V_{ie} – эквивалентная скорость режима испытания, м/с.

Представление равномерного движения.

Каждый этап равномерного движения АТС в ЕЦ со скоростью V_{pd} представляется эквивалентным режимом с параметрами V_{ie} (скорость АТС на режиме) и N_{ie} (мощность сопротивления движению АТС на режиме):

¹ ГОСТ 4401-81.

$$V_{ie} = V_{p\delta} \quad (10)$$

$$N_{ie} = N_{is} \quad (11)$$

где N_{ie} – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха, кВт, определяемая по формуле (7).

Представление режимов замедления и холостого хода.

Режимы замедления АТС с включенной передачей и «сброшенным газом» представляют собой режимы принудительного холостого хода. Моделировать их на тяговом стенде не представляется возможным. Поэтому данные этапы представляются работой двигателя на холостом ходу с повышенными оборотами коленчатого вала двигателя, т.е. с частотой вращения, составляющей 60% от номинальной.

Режимы замедления с выключенной передачей, а также режимы остановок АТС без выключения двигателя представляются работой двигателя на холостом ходу с минимальными оборотами коленчатого вала двигателя. Если нет реальных данных об этой величине, то принимается значение, находящееся в диапазоне 800 – 1000 мин⁻¹.

Результаты расчёта параметров эквивалентных режимов рекомендуется представлять в виде таблицы, форма которой имеет следующий вид:

Таблица 4

Расчёт эквивалентных режимов

№ режима	V_{ie} , м/с	$U_{кп}$	$\delta_{вр}$	N_{iv} , кВт	N_{ii} , кВт	N_{ie} , кВт
1						
...						
11						

Группировка эквивалентных режимов

Итак, согласно изложенной выше методике, режим движения АТС в городском ЕЦ по Правилам №83 ЕЭК ООН представляется в виде 11 стационарных эквивалентных режимов. Однако возникает

вопрос, а не избыточно ли такое количество режимов? Ведь каждый «лишний» режим испытаний будет приводить к необоснованному расходу топлива и времени, износу оборудования, загрязнению воздуха и т.п. Очевидно, что следует минимизировать число режимов испытаний.

Как известно, режимы работы двигателя условно разделяются на три области:

- малых нагрузок,
- средних нагрузок,
- больших нагрузок.

Такое деление обусловлено принципиальным различием требований к формированию рабочего процесса ДВС. Наиболее наглядно это можно показать на примере карбюраторного двигателя.

На режимах малых нагрузок основным требованием является обеспечение устойчивой работы двигателя. Для этого топливно-воздушную смесь приходится обогащать, используя систему холостого хода карбюратора. Это приводит к существенному увеличению выбросов CO и CH вследствие неполного сгорания смеси.

На режимах средних нагрузок главное – это достижение максимальной топливной экономичности. Для этого топливно-воздушную смесь обедняют на сколько это возможно для данного двигателя. При этом выбросы CO и CH снижаются. Однако, вместе с тем, растут выбросы NO_x, особенно на повышенных частотах вращения коленчатого вала, так как именно на этих режимах в полной мере реализуются два основных условия образования этих веществ – высокая температура и наличие свободного кислорода.

На режимах больших нагрузок рабочий процесс формируют таким образом, чтобы обеспечить наивысшую энергоотдачу от сжигаемого топлива. С этой целью топливно-воздушную смесь опять приходится обогащать, используя систему экономайзера и/или эконостата карбюратора. Соответственно, выбросы CO и CH

увеличиваются по сравнению с частичными нагрузками, а выбросы NOx наоборот снижаются из-за недостатка свободного кислорода.

Итак, в поле рабочих режимов ДВС существуют три принципиально различные области (где, в случае карбюраторного двигателя, дозировку топлива обеспечивают различные системы карбюратора), отличительным критерием которых является нагрузка. Именно это обстоятельство используется в данной работе для группирования эквивалентных режимов испытаний, полученных на предыдущем этапе.

Анализируя многопараметровые характеристики различных ДВС, было установлено, что «границы» перечисленных выше областей находятся примерно на уровне $0,25M_{\max}$ (малые – средние нагрузки) и $0,65M_{\max}$ (средние – большие нагрузки). Кроме того, установлено, что в области малых нагрузок целесообразно выделять зону, непосредственно примыкающую к холостому ходу при минимальной частоте вращения коленчатого вала двигателя. Границей этой зоны выбрана частота вращения, равная $n_{xx_min} + 500$ мин⁻¹ для бензиновых ДВС и $n_{xx_min} + 200$ мин⁻¹ для дизелей.

Если на многопараметровой характеристике ДВС отметить точки, где будет работать двигатель при испытании АТС на тяговом стенде на рассчитанных ранее 11 эквивалентных режимах, то будет видно, что они попадают во все 4 выделенные области¹ (рис. 3).

Все точки, попавшие в одну зону, представляется целесообразным сводить к одной. В нашем примере следует группировать точки 4 и 7 (зона больших нагрузок), точки 1, 3, 6, 8 и 9 (зона средних нагрузок), точки 2, 5 и 11 (зона малых нагрузок).

Таким образом, после группировки останется всего 4 эквивалентных режима, расположенных во всех областях работы ДВС.

Алгоритм группировки достаточно прост. Сначала нужно рассчитать значения частоты вращения коленчатого вала и

¹ Это общий случай. В некоторых вариантах точки эквивалентных режимов могут не попадать во все 4 области.

крутящего момента для всех эквивалентных режимов. Затем следует нанести полученные точки (режимы работы ДВС) на многопараметровую характеристику двигателя, предварительно разделённую на 4 области. И, наконец, рассчитать средневзвешенные параметры точек, попавших в одну область.

Частота вращения коленчатого вала ДВС при имитации движения АТС на i -том эквивалентном режиме n_{ie} (мин⁻¹) определяется по формуле:

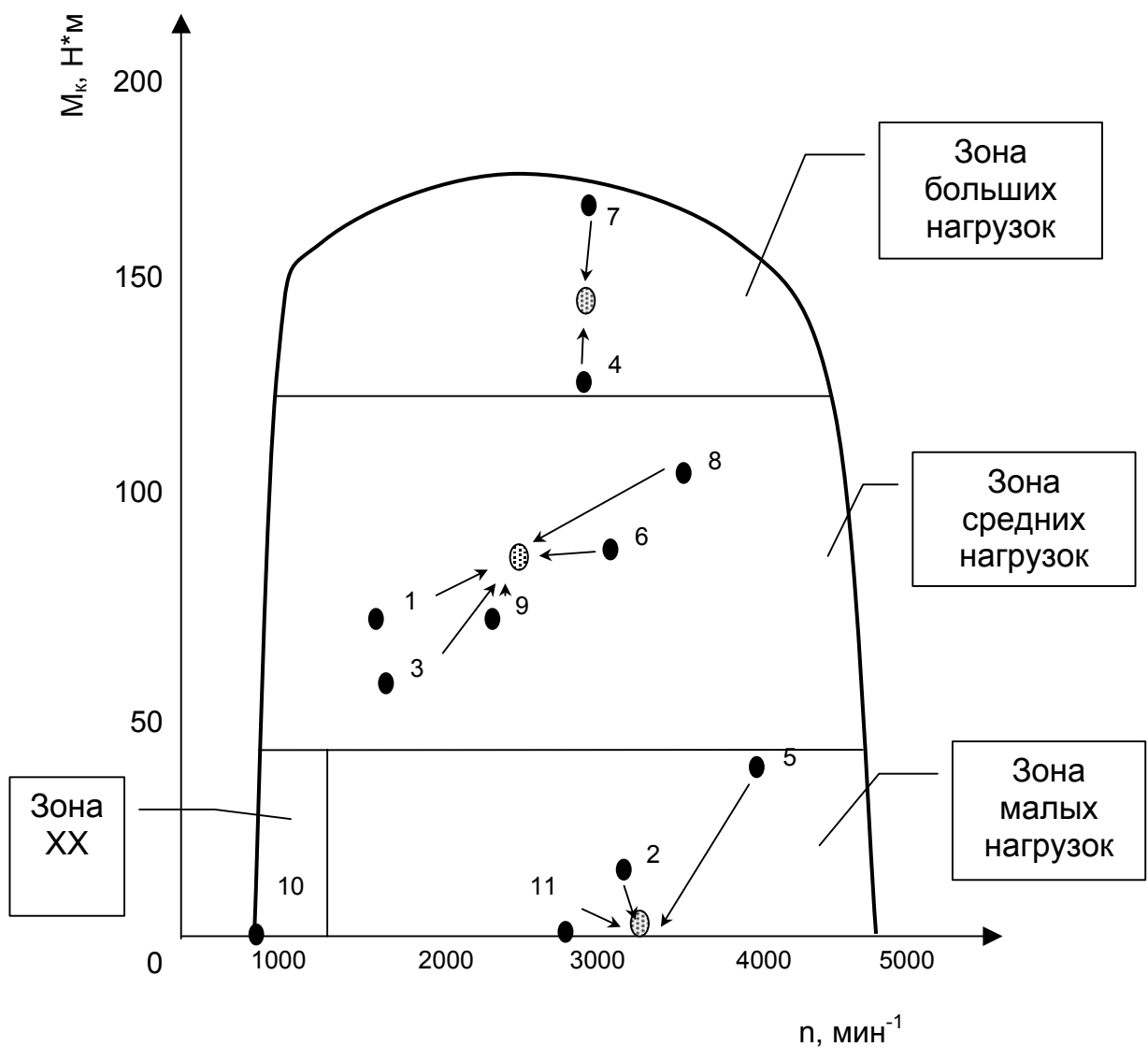


Рис. 3. Пример группировки эквивалентных режимов

$$n_{ie} = \frac{V_{ie} \cdot u_{КП} \cdot u_{ГП}}{0.105 \cdot r_k}, \quad (12)$$

где V_{ie} - скорость i -того эквивалентного режима испытаний, м/с;
 $u_{КП}$ – передаточное число ступени коробки передач, используемой для движения на i -том эквивалентном режиме;
 $u_{ГП}$ - передаточное число главной передачи;
 r_k – радиус качения колеса, м. Для простоты можно использовать значение статического радиуса колеса.

Крутящий момент, развиваемый двигателем при имитации движения АТС на i -том эквивалентном режиме M_{ie} (Н*м) определяется по формуле:

$$M_{ie} = \frac{(N_{ie} + N_{ик}) \cdot 1000 \cdot r_{\delta}}{u_{КП} \cdot u_{ГП} \cdot \eta_m \cdot V_{ie}}, \quad (13)$$

где N_{ie} – мощность сопротивления тормозной установки тягового стенда на i -том эквивалентном режиме, кВт;
 $N_{ик}$ – мощность сопротивления качению колёс, кВт;
 V_{ie} - скорость i -того эквивалентного режима испытаний, м/с;
 $u_{КП}$ – передаточное число ступени коробки передач, используемой для движения на i -том эквивалентном режиме;
 $u_{ГП}$ - передаточное число главной передачи;
 η_m – КПД трансмиссии (при отсутствии реальных данных можно принять равным 0,9);
 r_{δ} – динамический радиус колеса (м). Для простоты можно использовать значение статического радиуса колеса.

Мощность сопротивления качению колёс $N_{ик}$ (кВт) рассчитывается по формуле:

$$N_{ик} = \frac{g \cdot m_a \cdot f_a \cdot V_{ie}}{1000}, \quad (14)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;
 m_a - расчетная масса АТС, кг;
 f_a – коэффициент сопротивления качению колёс;

V_{ie} - скорость i -того эквивалентного режима испытаний, м/с.

Коэффициент сопротивления качению колёс приближённо рассчитывается по априорной формуле [2]:

$$f_a = 0,02 + 7 \cdot 10^{-6} \cdot V_{ie}. \quad (15)$$

После расчета точек работы ДВС на эквивалентных режимах, необходимо определить весомость каждого из этих режимов. В качестве «веса» отдельных эквивалентных режимов следует использовать их относительную продолжительность в ЕЦ. Коэффициент весомости i -того режима k_{ie} , вычисляется по формуле:

$$k_{ie} = \frac{t_i}{t_{EЦ}}, \quad (16)$$

где t_i – продолжительность i -того этапа ЕЦ, с;

$t_{EЦ}$ – продолжительность ЕЦ, с.

Результаты расчётов рекомендуется представить в виде таблицы, форма которой имеет следующий вид:

Таблица 5

Точки работы двигателя на эквивалентных режимах

№ режима	N_{ik}	n_{ie}	M_{ie}	k_{ie}	Область
1					
...					

После заполнения табл. 5 производится группировка эквивалентных режимов. Сначала рассчитывается средневзвешенная частота вращения коленчатого вала ДВС для каждой j -той области \bar{n}_j (мин⁻¹):

$$\bar{n}_j = \frac{\sum_{i=1}^{m_j} (n_{ie} \cdot k_{ie})}{\sum_{i=1}^{m_j} k_{ie}}, \quad (17)$$

где m_j – число режимов, попавших в j -тую область.

Затем определяется средневзвешенный крутящий момент ДВС для каждой j-той области \bar{M}_j (Н*м):

$$\bar{M}_j = \frac{\sum_{i=1}^{m_j} (M_{ie} \cdot k_{ie})}{\sum_{i=1}^{m_j} k_{ie}}, \quad (18)$$

где m_j – число режимов, попавших в j-тую область.

После группировки точек работы ДВС на эквивалентных режимах следует произвести обратный пересчёт частоты вращения двигателя – в скорость АТС, а крутящего момента двигателя – в мощность, рассеиваемую тормозной установкой тягового стенда. Это необходимо сделать, так как именно этими параметрами определяется каждый из четырёх сгруппированных испытательных режимов. Обратный пересчёт производится путём решения уравнений (12) и (13) относительно скорости V_{ie} и мощности N_{ie} соответственно. При этом предполагается, что в коробке передач включена 3-я передача.

Результаты расчётов рекомендуется представить в виде таблицы, форма которой имеет следующий вид:

Таблица 6

Результаты группировки эквивалентных режимов

№ режима	\bar{n}_j	\bar{M}_j	V_{je}	N_{je}	Область
1					Холостого хода
2					Малых нагрузок
3					Средних нагрузок
4					Больших нагрузок

Определение пробеговых выбросов

Как было отмечено выше, измерив концентрации ЗВ в ОГ на эквивалентных режимах, можно оценить уровень пробеговых выбросов АТС. В данной курсовой работе процесс измерений

заменён процессом расчётного определения концентраций по сетке нагрузочных характеристик. В приложении 1 для каждого ЗВ (СО, СН, NO_x) задаются типичные для карбюраторного двигателя многопараметровые характеристики, представленные таблицей (сеткой) значений концентраций ЗВ в ОГ в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и крутящего момента двигателя. По этим таблицам методом двойной линейной интерполяции определяются концентрации ЗВ в ОГ на эквивалентных режимах.

Определив концентрации ЗВ в ОГ на эквивалентных режимах, можно переходить к последнему этапу работы – оценке пробеговых выбросов.

Сначала рассчитывается масса *k*-того загрязнителя, выброшенного на каждом *j*-том режиме m_{kj} , г:

$$m_{kj} = Q_{XX} \cdot k_{jQ} \cdot t_j \cdot C_{kj}, \quad (19)$$

где Q_{XX} – объёмный расход ОГ на холостом ходу двигателя, м³/с;

k_{jQ} – коэффициент увеличения расхода ОГ на *j*-том режиме;

t_j – продолжительность *j*-того этапа ЕЦ, с;

C_{kj} – концентрация *k*-того загрязнителя на *j*-том режиме, г/м³.

Расход ОГ на холостом ходу для 4-тактного двигателя Q_{XX} , м³/с, рассчитывается по формуле:

$$Q_{XX} = \frac{\eta_{XX} \cdot V_h \cdot n_{XX}}{120}, \quad (20)$$

где η_{XX} – коэффициент наполнения на холостом ходу;

V_h – рабочий объем двигателя, м³;

n_{XX} – частота вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу, мин⁻¹.

Величина k_{jQ} показывает относительное увеличение расхода ОГ на *j*-том режиме по сравнению с расходом ОГ на холостом ходу. Таким образом, на режиме холостого хода $k_{jQ}=1$. Для определения этой величины следует использовать следующую формулу:

$$k_{jQ} = \left[1 + k_{Qn} \cdot \frac{(n_j - n_{XX})}{(n_N - n_{XX})} \right] * \left[1 + k_{QM} \frac{M_j}{M_{\max}} \right], \quad (21)$$

где n_j - обороты двигателя на j -том режиме, мин^{-1} ;

n_{XX} – обороты двигателя на холостом ходу, мин^{-1} ;

M_j – момент, развиваемый двигателем на j -том режиме, Нм;

M_{\max} – максимальный крутящий момент на валу двигателя,

Нм;

K_{Qn} – коэффициент, показывающий во сколько раз увеличивается расход ОГ при изменении частоты вращения двигателя от n_{XX} до n_N ;

K_{QM} - коэффициент, показывающий во сколько раз увеличивается расход ОГ при изменении нагрузки от нуля до максимальной.

Значение коэффициентов K_{Qn} , K_{QM} и η_{XX} выбирается из табл. 7 в соответствии с типом двигателя.

Таблица 7

Ориентировочные значения коэффициентов K_{Qn} , K_{QM} и η_{XX} для двигателей разных типов

Тип двигателя	K_{QM}	K_{Qn}	η_{XX}
Бензиновый	3	$1,2 \cdot (n_N/n_{XX}) - 1$	0,2
Дизель без наддува	0,1	$1,05 \cdot (n_N/n_{XX}) - 1$	0,65
Дизель с наддувом	0,6	$1,5 \cdot (n_N/n_{XX}) - 1$	0,68

Пересчет размерностей концентраций производится по следующим формулам:

$$C_{\left[\frac{\rho}{\text{м}^3}\right]} = \frac{\mu \cdot 10^{-3}}{22,41} C_{[\text{млн}^{-1}]}, \quad (22)$$

$$C_{\left[\frac{\rho}{\text{м}^3}\right]} = \frac{\mu \cdot 10}{22,41} C_{[\%]}, \quad (23)$$

где $\mu_{\text{CO}}=28$; $\mu_{\text{CH}}=13,87$; $\mu_{\text{NO}_2}=46$ – молекулярные массы соответствующих загрязнителей воздуха.

Наконец, для определения пробегового выброса E_k достаточно определить суммарный выброс k -того загрязнителя за весь ЕЦ и разделить его на путь $S_{ЕЦ}$, проходимый автомобилем во время выполнения ездового цикла:

$$E_k = \frac{\sum_{j=1}^4 m_{kj}}{S_{ЕЦ}}, \quad (24)$$

где E_k – пробеговой выброс k -того загрязнителя, г/км;

$S_{ЕЦ}$ – путь ездового цикла, м (путь городского ЕЦ по Правилам №83 ЕЭК ООН равен 1,013 км).

Результаты промежуточных расчётов рекомендуется оформить в виде таблицы, форма которой имеет следующий вид:

Таблица 8

Расчёт пробеговых выбросов

№	k_{jq}	t_j с	C_{COj} %	C_{COj} г/м ³	m_{COj} г	C_{CHj} млн ⁻¹	C_{CHj} г/м ³	m_{CH} г	C_{CHj} млн ⁻¹	C_{CHj} г/м ³	m_{CH} г
1											
2											
3											
4											
E_k			$E_{CO} = \underline{\hspace{2cm}}$			$E_{CH} = \underline{\hspace{2cm}}$			$E_{NOx} = \underline{\hspace{2cm}}$		

Литература

1. ЕРА
2. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство». – М.:Машиностроение, 1989. – с.42.
3. M.Mitschke. Dynamik der Krafftfahrzeuge. BandA. Antreib und Bremsung. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg New York 1982.

Приложение 1

**Многопараметровые токсические характеристики
карбюраторного двигателя**

M_j/M_{\max}	$(n_j - n_{xx}) / (n_N - n_{xx})$					
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
CO, %						
0	1,3	1,01	1,02	1,0	1,03	1,2
0,2	0,15	0,13	0,22	0,25	0,24	0,92
0,4	0,1	0,11	0,1	0,28	0,35	1,0
0,6	0,23	0,1	0,18	0,37	0,74	1,2
0,8	2,83	0,19	0,66	0,8	1,45	1,8
1	3,9	1,94	3,2	2,85	2,8	2,2
CH, млн ⁻¹						
0	1100	1076	897	575	717	1112
0,2	880	1018	865	452	655	1067
0,4	1003	1119	912	663	733	974
0,6	876	1056	1029	861	789	678
0,8	1766	997	1144	865	854	559
1	2153	1794	1219	1076	1148	1076
NO _x , млн ⁻¹						
0	350	783	1108	1141	1173	1434
0,2	720	1278	1739	1353	1586	1853
0,4	1317	2389	2768	2268	2367	2182
0,6	1918	2922	3184	2747	2460	2237
0,8	1598	3074	3010	2716	2473	1969
1	1435	2021	2347	2295	1630	1826