

Обоснование метода оценки вредных выбросов автотранспортными средствами.

1 Введение

Существующие в настоящее время нормативные методики оценки выбросов автотранспортных средств (АТС) можно разделить на две группы. По методикам первой группы испытывают новые модели АТС для получения официального утверждения конструкции. Методики второй группы регламентируют условия испытаний АТС, находящихся в эксплуатации, при контрольных проверках, после технического обслуживания и текущего ремонта.

При официальном утверждении автомобиль испытывают более тщательно, стараясь приблизить режимы испытаний к реальным режимам движения. Это обеспечивает получение более достоверной информации об экологических качествах автомобиля, однако требует сложного оборудования и больших затрат.

Основным требованием, предъявляемым к экспресс-методам оценки токсичности отработавших газов АТС, является дешевизна и скорость проведения испытаний. К сожалению, информативность результатов таких проверок крайне низкая. Для АТС с бензиновыми двигателями, по сути, данными методами проверяют токсичность отработавших газов (ОГ) только на холостом ходу двигателя. Весомость же данного режима при движении АТС по городу составляет 20...30% по времени и еще меньше – по массе выбросов. Остальное время занимают режимы так называемых «частичных нагрузок», когда автомобиль либо разгоняется, либо движется с постоянной скоростью. При контрольных проверках они остаются неучтенными.

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

Испытания на холостом ходу мало что говорят о работе системы нейтрализации ОГ автомобиля, поскольку их температура, а также состав рабочей смеси на этом режиме таковы, что эффективность нейтрализации крайне низкая.

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 весьма печальными последствиями.

Итак, необходима более информативная методика оценки выбросов АТС, находящихся в эксплуатации. При этом она должна оставаться достаточно простой и дешевой.

2 Предполагаемый подход.

Идея повышения информативности контрольных испытаний достаточно проста: совместно с режимом холостого хода следует проводить замеры концентраций вредных веществ в ОГ и на нескольких нагрузочных режимах. Для реализации этой идеи, тем не менее, следует решить две проблемы. Первая из них связана с выбором способа нагружения

двигателя АТС. Производить измерения концентраций загрязнителей в ОГ двигателя в дорожных условиях нереально как из-за отсутствия переносной газоаналитической аппаратуры приемлемой точности, так и вследствие сложности соблюдения заданных условий испытаний (метеопараметров и режимов движения). Для обеспечения работы двигателя под нагрузкой в стационарных условиях требуется установка автомобиля на тяговый роликовый стенд, либо применение других нагрузочных устройств. В настоящее время более распространены тяговые роликовые стенды. Они используются на многих автотранспортных предприятиях для диагностики мощностных и экономических характеристик автомобилей после ТО или ремонта. По сути дела, данные стенды позволяют имитировать движение автомобиля на различных скоростях в установившемся режиме. При этом аппаратура, входящая в состав стенда должна обеспечивать регулировку и измерение как скорости «движения» автомобиля, так и мощности, рассеиваемой в тормозной установке стенда. А этого вполне достаточно для реализации предлагаемой методики.

Вторая проблема заключается в выборе значений параметров режимов испытаний. Сколько должно быть этих режимов, какова должна быть скорость «движения» и мощность сопротивления вращению колес? Решению этой проблемы и посвящена описываемая методика. Основным принципом здесь является то, что частичные режимы должны выбираться таким образом, чтобы отражать реальную картину нагружения двигателя в процессе движения АТС по городу.

Такой подход позволит значительно повысить информативность контрольных проверок токсичности ОГ с минимальными затратами, поскольку не требуется никакого нового оборудования сверх того, что уже имеется (по крайней мере, должно иметься) в автотранспортном предприятии. Исключение составляют приборы, необходимые для измерения концентрации NO_x в ОГ автомобилей. Их в настоящее время производится очень мало и стоимость их более высокая.

Кроме того, введение подобной методики позволит рассчитывать значения реальных количеств выбросов загрязняющих веществ автомобилями, а на основании этих расчетов определять плату за выбросы. Другими словами, на основании предлагаемой методики можно будет разрабатывать механизм экономического стимулирования снижения загрязнения воздуха.

Однако при применении данного подхода возникает ряд методических проблем, которым необходимо найти разрешение.

Основной из них является подмена *неустановившихся* режимов движения АТС при разгоне *установившимися* режимами испытаний на стенде. Она обусловлена невозможностью моделирования разгона АТС на тяговых роликовых стендах без использования специальных систем автоматического изменения мощности тормозной установки. Решить эту проблему в настоящее время затруднительно. Существует ряд предложений, но они еще недостаточно проработаны. Поэтому остается только принять это как допущение, которое не даст большой погрешности. Убежденность в этом основана на проведенном автором сравнении результатов компьютерного моделирования и эксперимента [1].

Другой проблемой является достаточно широкое разнообразие режимов движения автомобилей в городе. Споры о представительности стандартных ездовых циклов ведутся с момента их утверждения. Выходом из этой ситуации может стать разработка региональных ездовых циклов. Однако в этом случае могут возникнуть сложности с сертификацией (для каждого региона – свои режимы, а значит и свой сертификат), поэтому на начальном этапе все же предпочтительно опираться на существующие стандартные ездовые циклы, например, определенные Правилами № 83 ЕЭК ООН.

И, наконец, как избежать недостатка существующих методов оценки выбросов двигателей большегрузных АТС: невозможности учета конструктивных особенностей собственно автомобиля. Ведь аэродинамика автомобиля, параметры его ходовой части,

передаточные числа трансмиссии и некоторые другие факторы оказывают заметное влияние на величину выбросов. Избавиться от этой проблемы позволит отказ от жесткого нормирования типичных режимов работы двигателя в точках замера концентраций вредных компонентов в ОГ. Вместо этого следует нормировать саму методику определения этих режимов. И именно в этой методике следует заложить возможности учета всех необходимых параметров.

Что же касается нормируемых показателей, то ими должны являться средневзвешенные значения измеренных концентраций вредных веществ на всех рассчитанных режимах. Концентрация вредного вещества в ОГ характеризует совершенство рабочего процесса двигателя (и системы нейтрализации, если она имеется). В отличие от массовых выбросов, концентрация в значительно меньшей степени зависит от размерности (рабочего объема) двигателя. Поэтому в случае нормирования концентрации достаточно установить одну-две градации предельных показателей, распространяющихся на АТС, с двигателями разного типоразмера. К тому же, для расчета массовых выбросов загрязнителей необходимо знать объем ОГ, а это требует специального оборудования, требующего трудоемкой установки на двигатель и тарировки.

Индивидуализация режимов испытаний и использование единой нормы позволит, с одной стороны, получить более детальную и достоверную информацию о количестве выбросов АТС в городских условиях движения, а с другой стороны, заставит поддерживать в процессе эксплуатации надлежащее техническое состояние именно тех узлов и агрегатов автомобиля (двигателя), которые «отвечают» за уровень токсичности ОГ при движении в городе. Кроме этого, большой смысл приобретает такое понятие, как «региональные нормы выбросов», так как наряду с самими нормами могут устанавливаться характерные для региона условия движения АТС.

3 Описание методики оценки выбросов загрязняющих веществ с отработавшими газами автомобилей

3.1 Учет особенностей условий эксплуатации

В настоящей статье излагаются только основные идеи того, каким образом следовало бы учитывать различия в условиях эксплуатации различных типов АТС в разных регионах. Этот вопрос требует более тщательной проработки для того, чтобы в полной мере быть включенным в предлагаемую методику. Однако общий подход, по мнению автора, должен быть следующим.

- На первом этапе определяется «дорожная составляющая» условий эксплуатации. Сюда включается обобщенная характеристика макропрофиля дорожной сети региона. Данная характеристика является общей для всех типов АТС, кроме того, она весьма стабильна, поэтому ее определение можно проводить «централизованно» и достаточно редко (раз в 10 - 20 лет).
- Далее проводятся исследования условий движения АТС разных типов. Конечной целью таких исследований должны быть показатели скоростей движения АТС различного типа, представленные в виде двух (или трех) обобщенных ездовых циклов (ЕЦ). Первый из них должен отражать «стесненные» условия движения, возникающие, например, при заторах. Второй ЕЦ должен характеризовать «свободные» условия движения в городе. Для каждого ЕЦ должны определяться скорости переключения передач при разгоне, ускорения при разгоне на каждой передаче, скорости равномерного движения и другие необходимые параметры.
- Третьим этапом должно быть определение средних транспортных показателей: коэффициентов использования грузоподъемности и пробега.

- И, наконец, для учета метеорологических особенностей региона необходимо иметь значения «эталонных» температуры, давления, влажности атмосферного воздуха, к которым будут приводиться значения концентраций загрязнителей в ОГ АТС, получаемые в процессе испытаний. Кроме этого, необходимо иметь «розу ветров» региона, необходимую для вычисления средней вероятной скорости ветра. Этот показатель учитывается при уточнении силы сопротивления воздуха, действующей на движущийся автомобиль

3.2 Расчет режимов испытаний

Каждая точка замера концентраций загрязнителей в ОГ АТС на тяговом роликовом стенде определяется совокупностью двух показателей: скоростью «движения» и мощностью сопротивления «движению». Скорость замеряется по частоте вращения беговых барабанов стенда. Мощность сопротивления определяется мощностью, рассеиваемой в тормозной установке стенда.

Количество контрольных точек определяется исходя из анализа графика обобщенного ЕЦ. Каждый этап разгона в ЕЦ представляется числом точек, соответствующих числу используемых при разгоне ступеней коробки передач. Каждый этап равномерного движения представляется одной точкой. Режимы замедления АТС с включенной передачей и «сброшенным газом» представляют собой режимы принудительного холостого хода. Моделировать их на тяговом стенде не представляется возможным. Поэтому предлагается данные этапы представлять работой двигателя на холостом ходу на повышенных оборотах, 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 минимальной частотой вращения коленвала. Последние два режима представляют собой стандартные испытания по ГОСТ 17.2.2.03-87.

Например, городской ездовой цикл по Правилам № 83 ЕЭК ООН (рис. 1) в соответствии с предлагаемой методикой представляется 11-ю режимами, параметры которых приведены в табл. 1. 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.

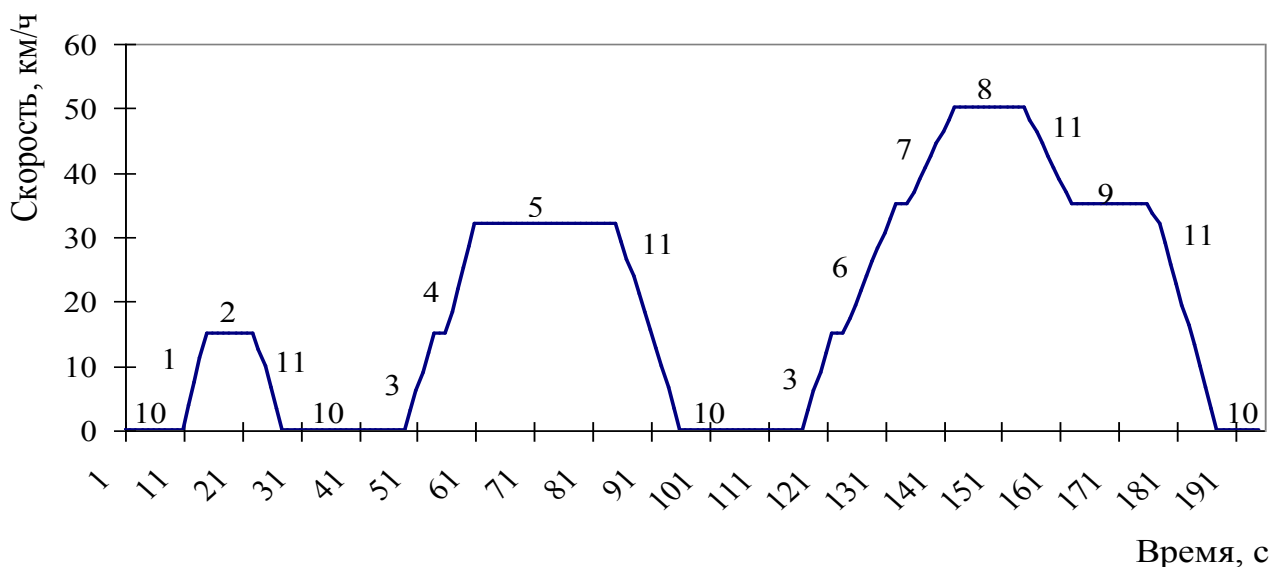


Рис. 1. График городского ездового цикла по Правилам ЕЭК ООН № 83

Таблица 1

Представление городского ездового цикла.

№	Наименование этапа	Скорость, км/ч	Ускорение, м/с ²	Длительность, с	Используемая ступень КП	Коэф.
1	Разгон	0-15	1,04	4	1	0,02
2	Равномерное движ.	15	-	8	1	0,041
3	Разгон	0-15	0,83	5+5=10	1	0,05
4	Разгон	15-32	0,94	5	2	0,025
5	Равномерное движ.	32	-	24	2	0,123
6	Разгон	15-35	0,62	9	2	0,046
7	Разгон	35-50	0,52	8	3	0,041
8	Равномерное движ.	50	-	12	3	0,06
9	Равномерное движ.	35	-	13	3	0,069
10	Холостой ход n_{\min}	-	-	77	-	0,395
11	Холостой ход $n_{\text{пов}}$	-	-	25	-	0,13

После расчета режимов, на которых следует измерять концентрации загрязнителей в ОГ, необходимо определить весомость каждого из этих режимов. При определении весомости следует рассматривать два аспекта. С одной стороны, весомость режима определяется тем, насколько часто он встречается при движении в заданных условиях. Другими словами, какая доля общего времени движения приходится на этот режим. С другой стороны, количество (масса) выбросов определяются не только концентрацией загрязнителей в ОГ, но и расходом ОГ, который очень сильно зависит от режима работы двигателя. Экспериментальное определение расхода ОГ требует дополнительного оборудования (расходомеров воздуха и топлива), применение которого значительно усложнит методику испытаний. Поэтому, предлагается ориентировочно оценивать расход ОГ при помощи коэффициента весомости режима по расходу ОГ. Величина этого коэффициента показывает относительное увеличение расхода ОГ на каждом режиме по сравнению с расходом ОГ, выбрасываемым двигателем на холостом ходу.

В качестве примера в табл. 2 приведены результаты расчета режимов испытаний для автомобиля УАЗ-3303, являющихся альтернативой испытаниям по городскому ездовому циклу.

Таблица 2

Расчет режимов испытаний для автомобиля УАЗ-3303.

№ режима	Скорость, км/ч	Мощность, кВт	Коэффициент весомости по времени	Коэффициент весомости по расходу ОГ	Суммарный коэффициент весомости
1	7,5	11,051	0,02	3,628	0,046
2	15	5,441	0,041	4,260	0,061
3	7,5	9,336	0,05	3,378	0,058
4	23,5	33,329	0,025	6,220	0,074
5	32	14,901	0,123	5,721	0,116
6	25	27,066	0,046	5,825	0,080
7	42,5	46,213	0,041	7,227	0,092
8	50	32,793	0,06	6,388	0,093
9	35	17,205	0,069	4,631	0,078
10	n_{\min}	-	0,395	1,000	0,207
11	$n_{\text{пов}}$	-	0,13	3,368	0,096

3.3 Окончательный выбор режимов испытаний

Итак, режим движения автомобиля в городском ездовом цикле по Правилам № 83 ЕЭК ООН можно, опираясь на изложенную выше методику, представить в виде 11 стационарных 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. Исходя из этого, на заключительном этапе разработки данной методики было решено разработать способы минимизации 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 СО и СН 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 СО и СН (если не переусердствовать с обеднением смеси) снижаются до минимальных величин. Однако, вместе с тем, растут выбросы NO_x, особенно на повышенных частотах вращения коленвала, так как именно на этих режимах в полной мере реализуются два основных условия образования этих веществ – 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 СО и СН увеличиваются по сравнению с частичными нагрузками, а выбросы NO_x 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 автономные системы карбюратора), отличительным критерием которых является нагрузка. Именно это обстоятельство решено использовать в данной методике для группирования стационарных 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 коленвала. Границей этой зоны выбрана частота вращения, равная $n_{xx} + 500 \text{ мин}^{-1}$ для бензиновых ДВС и $n_{xx} + 200 \text{ мин}^{-1}$ для дизелей.

Если на многопараметровой характеристике ДВС отметить рассчитанные ранее 11 режимов, то будет видно, что они попадают во все 4 выделенные области (рис. 4).

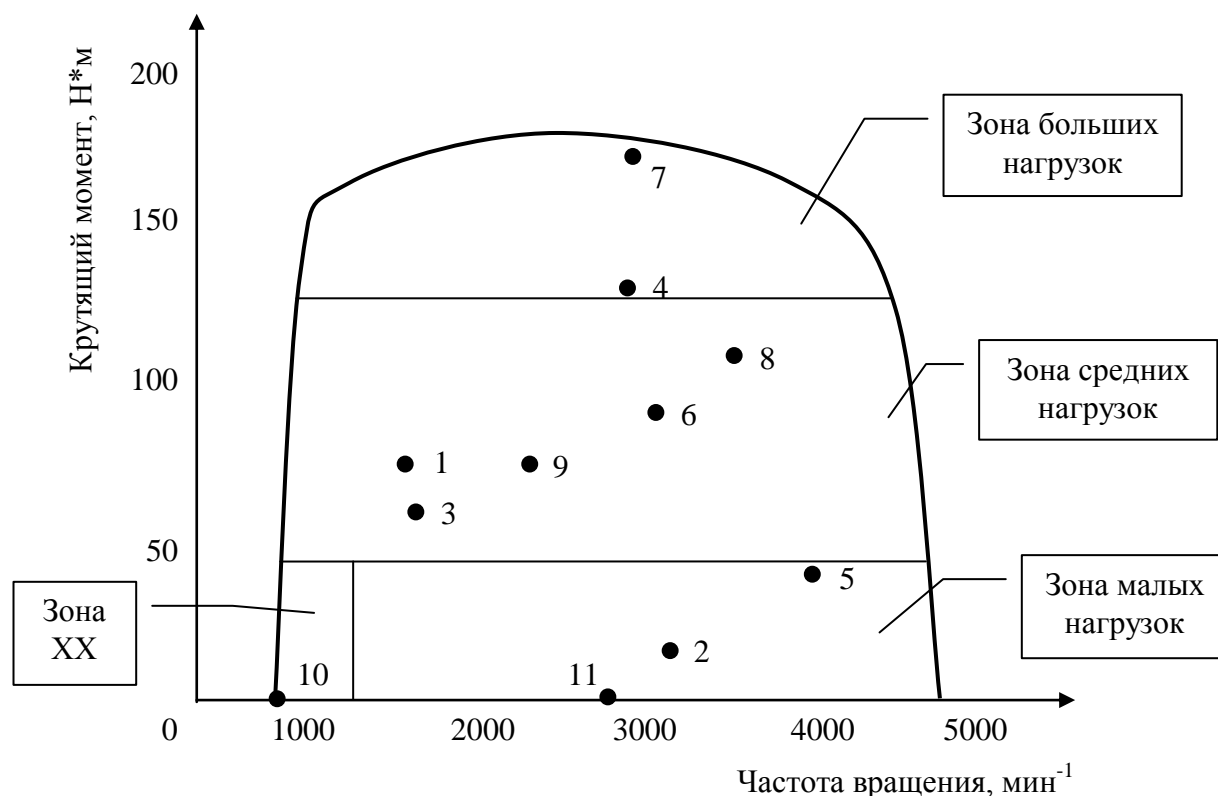


Рис. 2. Группировка рассчитанных режимов по различным зонам работы ДВС

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).

Алгоритм группировки достаточно прост. Нужно рассчитать средневзвешенные значения частоты вращения коленвала и крутящего момента, используя в качестве «весов» отдельных режимов вычисленные для них коэффициенты.

В нашем случае средняя частота вращения для режимов 1, 3, 6, 8 и 9, попадающих в зону средних нагрузок, равна 2570 мин⁻¹. Средний крутящий момент для этих режимов равен 85 Н*м. На стенде с роликовыми барабанами это будет соответствовать движению на 3-й передаче со скоростью 38 км/ч и рассеиваемой мощностью 19,5 кВт. Суммарный коэффициент весомости этого режима следует принять равным сумме коэффициентов всех входящих в группу режимов. Следовательно, он равен 0,354.

Для режимов 4 и 7, попадающих в зону больших нагрузок, средняя частота вращения равна 2900 мин⁻¹, а средний крутящий момент – 148 Н*м. На стенде с роликовыми барабанами это будет соответствовать движению на 3-й передаче со скоростью 43 км/ч и рассеиваемой мощностью 34 кВт. Суммарный коэффициент весомости - 0,166.

Все режимы, попавшие в зону холостого хода представляются работой двигателя на холостом ходу с минимальными возможными оборотами коленвала.

Все режимы, попавшие в зону малых нагрузок, представляются работой двигателя на холостом ходу с повышенными оборотами коленвала (60 % от номинальных оборотов).

Всего, таким образом, после группировки останутся четыре режима испытаний (табл. 3), два из которых ($n_{xx \text{ min}}$ и $n_{xx \text{ пов}}$) используются в настоящее время для стандартных испытаний двигателя на токсичность. На этих режимах и следует проводить замеры концентраций загрязнителей в ОГ.

Таблица 3

Окончательные режимы испытаний автомобиля УАЗ-3303

№ и название режима	Используемая ступень КП	Скорость, км/ч	Мощность, кВт	Коэффициент весомости
1 (большие нагрузки)	3	43	34	0,166
2 (средние нагрузки)	3	38	19,5	0,354
3 (малые нагрузки)	-	$0.6n_N$	-	0,273
4 (холостой ход)	-	n_{min}	-	0,207

4 Использование методики для оценки пробеговых выбросов

Как было указано выше, предлагаемая методика может использоваться для приблизительного расчета пробеговых выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами. Для этого по известным формулам вычисляется расход ОГ на холостом ходу двигателя. Далее, используя измеренные на каждом режиме значения концентраций загрязнителей в ОГ и рассчитанные ранее величины весовых коэффициентов, определяется масса загрязнителей, выбрасываемых на каждом режиме. После этого достаточно определить суммарный выброс загрязнителя за весь ЕЦ и разделить его на путь, проходимый автомобилем во время выполнения ездового цикла:

Проверка достоверности данного подхода проводилась на примере того же автомобиля УАЗ-3303. На первом этапе был проведен расчет выбросов по всем 11 режимам, представляющим ездовой цикл, на втором этапе – только по 4 сгруппированным режимам. На заключительном этапе рассчитывались пробеговые выбросы данного автомобиля с помощью компьютерного моделирования его движения в ездовом цикле [2].

Для сравнения были проведены расчеты токсичных выбросов данного автомобиля с

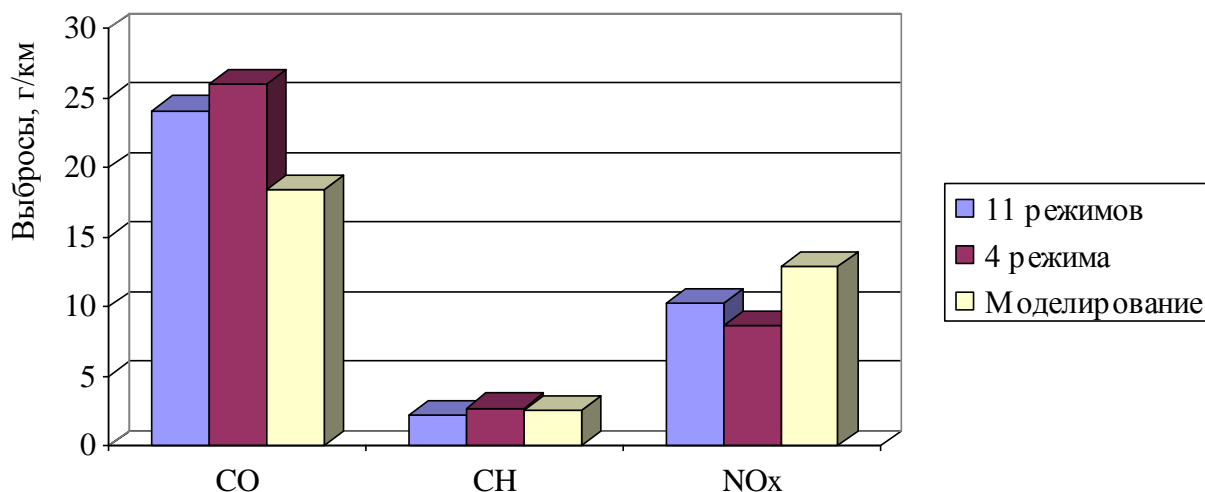


Рис. 3. Сравнение различных методов расчета пробеговых выбросов

использованием компьютерного моделирования движения. Выбросы CO при этом составили 18,4 г/км, СН – 2,5 г/км, NOx – 12,9 г/км.

Сравнивая полученные результаты следует отметить, что представленные расчеты носят скорее ориентировочный характер, и не претендуют на абсолютную точность. Во всех трех вариантах расчета существуют определенные допущения, которые неизбежно вносят определенную погрешность. Тем не менее, значения выбросов всех вредных веществ, рассчитанные по всем трем вариантам достаточно близки друг к другу. Вполне логично предположить, что результаты компьютерного моделирования наиболее близки к истинным значениям. В этом случае использование варианта расчета пробеговых выбросов по 11 стационарным режимам дают более точные результаты, чем расчеты по 4 режимам. Это вполне закономерно и не требует пояснений. Для наглядности сравниваемые величины представлены в виде гистограммы, показанной на рис. 5.

5 Основные выводы

Предлагается метод повышения информативности контрольных испытаний автотранспортных средств: совместно с режимом холостого хода проводить замеры концентраций вредных веществ в ОГ и на нескольких режимах частичных нагрузок, для реализации которых будут использоваться нагрузочные стенды, имеющиеся практически на любом автотранспортном предприятии. При этом режимы должны выбираться таким образом, чтобы отражать реальную картину нагружения двигателя в процессе движения АТС по городу.

Такой подход позволит значительно повысить информативность контрольных проверок токсичности ОГ с минимальными затратами.

Кроме того, введение подобной методики позволит рассчитывать значения реальных количеств выбросов загрязняющих веществ автомобилями, а на основании этих расчетов определять плату за эти выбросы. Другими словами, на основании предлагаемой методики можно будет разрабатывать механизм экономического стимулирования снижения загрязнения воздуха.

1 Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Снижение экологических нагрузок на окружающую среду при работе автомобильного транспорта//Итоги науки и техн. ВИНТИ, Автомобильный транспорт. - С.1 - 340. 1996.

2 Трофименко Ю.В., Шелмаков С.В. Оценка токсичности и топливной экономичности автотранспортных средств в ездовых циклах.//Транспорт: наука, техника, управление. – 1994. - №3. – с. 56 – 63.