

**Московский государственный автомобильно-дорожный  
институт (технический университет)**

**Кафедра автомобилей**

Утверждаю  
Зав. кафедрой, проф.

\_\_\_\_\_ А.А. Юрчевский

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1998 г.

**С.В. Шелмаков, А.И. Архипов, В.И. Осипов**

**Методические указания**

**к проведению лабораторных работ по теме**

**«Формирование экологических показателей автомобиля»**

**Москва 1998**

УДК  
БК

© Московский государственный автомобильно-  
дорожный институт (технический университет),  
1998

## **Общие сведения**

Автотранспортные средства (АТС) при движении загрязняют атмосферный воздух отработавшими газами (ОГ) двигателей, картерными газами, испарениями топлива и трансмиссионных масел, пылью и аэрозолями, образующимися при износе дорожного полотна, шин, тормозных колодок и дисков сцепления. Кроме того, при перевозке некоторых видов грузов также выделяются многочисленные загрязнения. Попав в атмосферу, эти вещества могут при определенных метеоусловиях образовывать новые токсичные соединения, подчас более опасные, чем исходные компоненты. Наиболее яркий пример – взаимодействие углеводородов и окислов азота при наличии солнечного света. В этом случае в атмосфере интенсивно образуются и накапливаются озон, кислородсодержащие углеводороды (альдегиды, кетоны), соединения азота с углеводородами (пероксиацилнитраты – ПАН) и другие загрязнители, которые, вступая в реакцию с водяным паром, могут образовывать смог [1].

Выбросы токсичных веществ автотранспортом составляют ежегодно 28 - 39 млн. тонн. При этом доля мототехники и легковых автомобилей составляет около 5%, автобусов – 16 %, а остальная часть - выбросы двигателей грузовых автомобилей. Для сравнения - выбросы токсичных веществ автопарком США составляют немногим более 46 млн. т. в год, хотя численность его в 7 раз больше, чем у нас [3].

Проблема загрязнения воздуха автотранспортом особенно остро стоит в крупных городах, где его доля может достигать 90% от общей суммы токсичных выбросов. В последнее время, в связи с ростом частного сектора автопарка, загрязненность воздуха городских улиц достигает величин, в несколько раз превышающих допустимый санитарный уровень.

Такое сложное положение обуславливает необходимость ясного осознания существа проблемы и тщательного изучения способов, которые могут снизить количество вредных выбросов автотранспортом.

## **Основные загрязнители воздуха, выбрасываемые автомобилями, и их влияние на человека и окружающую среду**

Преобразование энергии топлива в механическую работу, осуществляемое в двигателях внутреннего сгорания (ДВС), сопровождается образованием загрязняющих веществ. Всего в составе ОГ ДВС содержится около 280 компонентов, которые по химическим свойствам, характеру воздействия на биосферу разделяются на нетоксичные ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $H_2$ ) и токсичные ( $CO$ ,  $NO_x$ ,  $C_xH_y$ ,  $SO_2$ ,  $H_2S$ , сажа, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), альдегиды, фенолы, кетоны).

Многочисленными исследованиями доказано, что в промышленных центрах с высоким уровнем загрязнения атмосферы возрастает количество различных заболеваний. Предельные концентрации токсичных компонентов в воздухе устанавливаются в качестве гигиенических норм, т.е. с точки зрения непосредственной охраны здоровья человека. Однако не следует забывать о большом вреде для здоровья человека длительного воздействия малых концентраций вредных веществ и суммарного воздействия нескольких токсичных компонентов. Точно определить степень и диапазон вредного воздействия загрязненного воздуха на здоровье людей весьма сложно, тем более что в разных условиях они часто бывают различными.

Изучены последствия воздействия на организм человека отдельных компонентов токсичных выбросов. Особенно опасными для здоровья человека являются оксид углерода и окислы азота. Оксид углерода вызывает торможение функций активных центров образования гемоглобина, вследствие чего нарушаются окислительные процессы в организме, что может привести к смерти.

Особое внимание следует обратить на явление хронического отравления небольшими дозами оксида углерода, которое может происходить при объемной концентрации  $CO$ , равной 0,01 %. Отравлению такого рода подвержены водители, работники службы организации движения и пешеходы в больших городах. Около 95 % оксида углерода, вдыхаемой пешеходами, попадает в воздух с отработавшими газами АТС. Хроническое отравление выражается в появлении головных болей, шума в ушах, затрудненного дыхания, общей

депрессии и понижении работоспособности. Отравление СО может в ряде случаев послужить причиной ДТП, так как даже при небольшом уровне загрязнения у водителя заметно снижается внимание и замедляется реакция. СО в ряде стран считается основным токсичным веществом. По отношению к СО определяется относительная токсичность других основных компонентов отработавших газов АТС.

Окислы азота в соединении с водяными парами образуют азотную кислоту, разрушающую легочную ткань, что приводит к хроническим заболеваниям. Двоокись азота  $\text{NO}_2$  раздражает слизистую оболочку, глаза, легкие и вызывает необратимые изменения в сердечно-сосудистой системе, а также патологическое состояние беспокойства. Опасной является концентрация, составляющая более 1 - 2 ч.м. Окислы азота в соединении с углеводородами образуют токсичные нитроолефины. Воздействие окислов азота нельзя ослабить никакими нейтрализующими средствами.

Несгоревшие углеводороды, выбрасываемые с отработавшими газами, представляют собой смесь нескольких сотен химических соединений. Эта смесь, имеющая неприятный запах, является причиной многих хронических заболеваний. Наиболее опасным соединением считается бенз( $\alpha$ )пирен, обладающий канцерогенными свойствами. Резкое увеличение в последние десятилетия числа заболеваний раком легких, особенно в крупных городах, многие исследователи связывают именно с повышением содержания канцерогенов в атмосферном воздухе.

Некоторые ароматические углеводороды обладают сильными отравляющими свойствами, они воздействуют на процессы кроветворения, центральную нервную и мышечную системы. Углеводороды алифатического типа менее токсичны, но оказывают наркотическое действие на центральную нервную систему.

Двоокись серы также оказывает вредное влияние на организм человека, действует раздражающе на кроветворные органы - костный мозг и селезенку, а также вызывает нарушения в обмене углеводов. Хроническое отравление малыми дозами двооксида серы проявляется в виде головных болей, бессонницы, раздражении слизистой оболочки, а в некоторых случаях - хронического бронхита и конъюнктивита.

Сажа является очень опасным компонентом отработавших газов. Помимо углерода, сажа является носителем канцерогенных углеводородов, адсорбирующихся на ее поверхности.

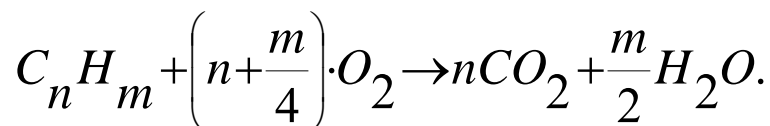
Сильнодействующими токсичными веществами являются свинец и его соединения. Они накапливаются в организме, вызывая нарушения в обмене веществ и кровяных процессах. Применение этилированного бензина, содержащего тетраэтилсвинец, во многих крупных городах запрещено.

Воздействие отработавших газов автомобилей на растительность проявляется даже в большей степени, нежели на человека. Озон, который образуется в воздухе при наличии углеводородов и окислов азота, является очень сильным окислителем. В совокупности с азотной и серной кислотами, «сырьем» для образования которых служат также компоненты отработавших газов, он приводит к стрессу и гибели растений. Эти же окислители ускоряют коррозию металлов, разъедают изделия из известняка и мрамора и приводят к другим многочисленным негативным проявлениям.

### **Механизм образования основных загрязнителей**

Процесс сгорания топлива в ДВС протекает очень быстро. Реакции сгорания углеводородов в камере сгорания двигателя являются весьма сложными и при этом недостаточно изученными. Известно, что реакции сгорания углеводородов относятся к типу цепных реакций с разветвлениями, при которых большое значение имеют цепи, образуемые от основной цепи. Характер протекания реакций зависит от температуры и давления в камере сгорания, от способа образования рабочей смеси и способа ее воспламенения.

Химическая реакция полного сгорания углеводородов может быть выражена стехиометрическим уравнением



Данное уравнение было бы верным только в случае, если бы молекула топлива подверглась одновременному столкновению с  $(n+m/4)$  молекулами кислорода с соответствующей большой энергией. Вероятность такого столкновения настолько мала, что вообще не может приниматься во внимание. В соответствии с теорией цепной реакции, в период химической подготовки

топлива к воспламенению некоторые молекулы углеводородов подвергаются распаду и при этом выделяются весьма активные (и неустойчивые) радикалы воспламенения, которые, взаимодействуя с молекулами кислорода, образуют органические перекиси и альдегиды. В момент, когда концентрация этих продуктов реакции достигает критической величины, происходит их взрывной распад и начинается цепь реакций сгорания.

В момент перед возникновением пламени наблюдается резкий прирост  $C_2H_2$  и  $H_2$ . Одновременно накапливаются соединения  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  и углерод. После воспламенения образуется окись углерода, ненасыщенные углеводороды и углерод. Дальнейшие преобразования этих компонентов зависят от продолжительности реакции, газодинамических условий, а также от явлений, сопутствующих процессу газообмена в камере сгорания [2].

### Образование оксида и диоксида углерода

Как говорилось выше, конечной стадией сгорания углеводородов является реакция дожигания оксида углерода, в действительности начинающаяся уже в ранней стадии сгорания. Стехиометрическое (теоретически необходимое) количество сухого воздуха (кг), необходимое для полного окисления 1 кг топлива можно рассчитать по формуле:

$$l_0 = \frac{4.3211 \times 15.999 \left[ 2 + 0.5 \frac{H}{C} - \frac{O}{C} + 2 \frac{S}{C} + 1 \frac{N}{C} \right]}{\left[ 12.011 + 1.0079 \frac{H}{C} + 15.999 \frac{O}{C} + 32.066 \frac{S}{C} + 14.007 \frac{N}{C} \right]},$$

где H, C, O, S, N - элементарный состав топлива, % массы.

Когда действительное воздушно-топливное соотношение смеси, поступающей в ДВС, выше стехиометрического, то такая смесь обладает избытком воздуха и называется "бедной". Наоборот, когда действительное соотношение ниже стехиометрического, сгорание топлива неполное и смесь "богатая". В этом случае в ОГ будут содержаться продукты неполного сгорания, основным из которых является CO. Однако даже при сгорании бедных смесей со значительным избытком воздуха (дизеля) вследствие локальных различий в составе смеси образуется CO.

Основная доля, образующегося в процессе окисления топлива оксида углерода, догорает по цепному механизму в диоксид углерода.

Экспериментально установлено, что окисление CO в CO<sub>2</sub> происходит и в выпускном коллекторе. Системы нейтрализации ОГ призваны способствовать этому процессу с максимальной эффективностью. Но CO<sub>2</sub>, хотя и нетоксичное соединение, является основной причиной возникновения "парникового эффекта", поэтому в последнее время ограничению выброса данного компонента уделяется большое внимание.

Концентрация CO<sub>2</sub> в продуктах сгорания различных топлив зависит прежде всего от их элементарного состава, а не от эффективности процесса сгорания [3].

### **Эмиссия углеводородов**

В составе ОГ автомобильных двигателей присутствуют углеводороды, образующиеся двумя путями: в результате реакций цепочно-теплого взрыва (пиролиза, синтеза), когда образуются полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), альдегиды, кетоны, фенолы, а также в результате неполного сгорания топлива.

Несгоревшие углеводороды остаются в зазорах, которые малы для распространения пламени (между поршнем и стенкой цилиндра, над первым поршневым кольцом, вокруг клапанов), а также в "замороженных" слоях у стенок цилиндра и переобогащенных зонах пространства камеры сгорания, где происходит пиролиз. Рост количества несгоревших углеводородов наблюдается и при работе двигателя на переобогащенных смесях из-за гашения пламени или пропуска зажигания.

### **Образование твердых частиц**

Некоторую часть несгоревших углеводородов топлива и моторного масла с высокими температурами испарения, в соответствии с принятыми в США и Западной Европе нормами, относят к твердым частицам (рис 1).

Твердые частицы с ОГ типичного дизеля с наддувом состоят на 68 - 75% из нерастворимых частиц и на 25 - 32% - из растворимых.



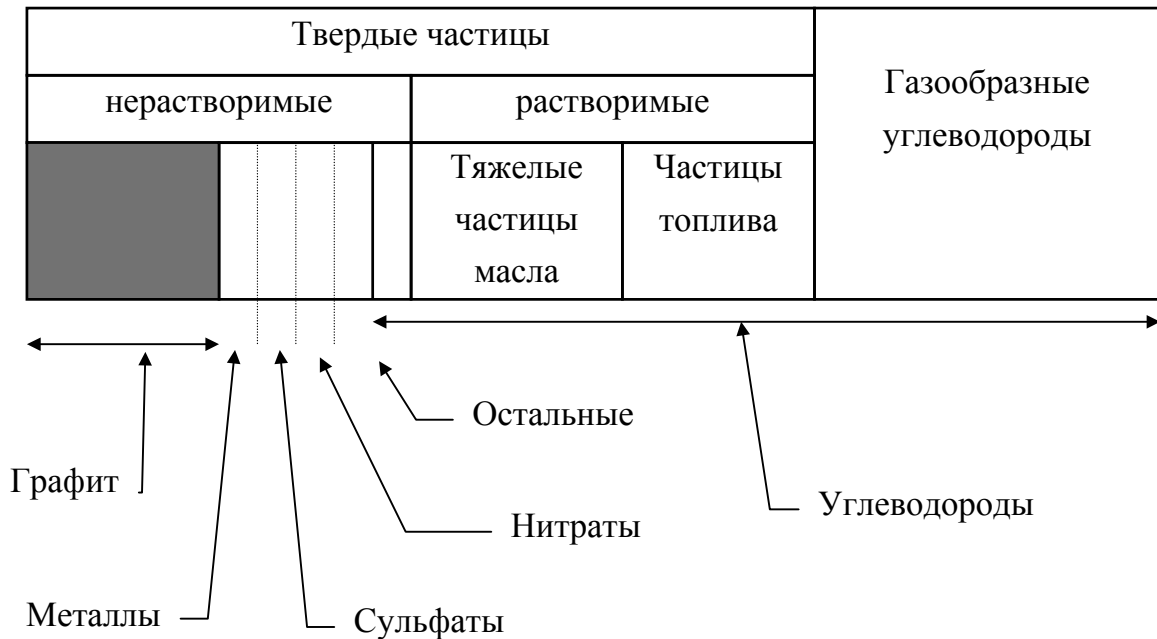


Рис. 1. Состав твердых частиц

Сажа (твердый углерод) является основным компонентом нерастворимых твердых частиц. Различают несколько стадий формирования сажи в процессе сгорания:

- образование зародышей, их рост до первичных частиц (кристаллитов - шестиугольных пластинок графита);
- коагуляция (слипание) до развитых конгломератов;
- выгорание сложных образований.

На первых двух этапах этой цепи физико-химических превращений, приводящих к появлению первичных частиц, происходят процессы пиролиза (крекинга), гидрогенизации и дегидрогенизации (присоединения или отнятия водорода от промежуточных продуктов); полимеризации (соединение мономеров в полимер); конденсации (присоединение двух и более молекул к первичной с образованием частиц третьего типа).

Выделение сажи из пламени происходит в диапазоне коэффициентов избытка воздуха 0,33 – 0,7. При наличии в отрегулированных двигателях с внешним смесеобразованием и искровым зажиганием (бензиновых, газовых) практически гомогенной рабочей смеси вероятность появления таких

обогащенных зон незначительна. Нет условий для роста и коагуляции первичных частиц, так как высокая температура рабочего тела после прохождения горячего пламени способствует интенсивному выгоранию образовавшейся сажи. У дизелей локальные переобогащенные топливом зоны образуются чаще, и в полной мере реализуются перечисленные выше процессы сажеобразования. Поэтому значения выбросов сажи с ОГ дизелей являются на порядок большими, чем у двигателей с искровым зажиганием.

В состав твердых частиц кроме сажи входят соединения серы и свинца. Сера, содержащаяся в моторном топливе, во время горения интенсивно окисляется в  $SO_2$  и далее (с существенно меньшей скоростью) в  $SO_3$ . Затем наиболее вероятной является реакция  $SO_3$  с парами воды, приводящая к образованию серной кислоты, которая интенсивно протекает на стенках камеры сгорания, в выпускной системе и в атмосфере.

Свинец в составе твердых частиц (при использовании этилированных бензинов) присутствует в виде галогенидов свинца и соединений галогенидов аммония и свинца, которые образуются по сходному с образованием сажи механизму.

### **Образование оксидов азота**

В продуктах сгорания двигателей могут одновременно присутствовать шесть соединений азота с кислородом:  $N_2O$ ,  $NO$ ,  $N_2O_3$ ,  $NO_2$ ,  $N_2O_4$ ,  $N_2O_5$ . При реализации в тепловых двигателях рабочего процесса с максимальными температурами цикла порядка 1500 - 2500 °С преобладающим в выбросах из окислов азота становится оксид  $NO$  (99% в двигателях с искровым зажиганием и более 90% в дизелях) [3].

Считается, что в процессе горения оксид азота может образовываться следующими путями:

- при высокотемпературном окислении азота воздуха (термический  $NO$ );
- в результате низкотемпературного окисления азотосодержащих соединений моторного топлива (топливный  $NO$ );
- вследствие столкновения углеводородных радикалов с молекулами азота в зоне реакций горения при наличии пульсаций температуры (быстрый  $NO$ ).

Основными условиями образования окислов азота являются высокая температура и наличие свободного кислорода, т.е. такие условия, которые необходимо создать для уменьшения выбросов  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$  и сажи.

### **Факторы, влияющие на количество вредных выбросов ДВС**

Количество выделяемых двигателем основных токсичных выбросов ( $\text{CO}$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$ ,  $\text{NO}_x$ , сажа) в значительной степени зависит от качества процесса сгорания. Протекание и эффективность процесса сгорания обусловлены главным образом следующими параметрами:

- типом двигателя, конструкцией камеры сгорания, степенью сжатия, организацией рабочего процесса, равномерностью распределения смеси по цилиндрам;
- регулировками устройств, отвечающих за состав топливно-воздушной смеси, угол опережения зажигания (впрыска топлива), тепловое состояние;
- техническим состоянием (качеством изготовления и эксплуатации, сроком службы);
- типом и качеством используемого топлива;
- параметрами окружающей среды (температурой, влажностью, давлением, химическим составом воздуха);
- режимом работы двигателя (нагрузкой, частотой вращения, параметрами неустановившихся режимов).

**Внимание!** В изложенных ниже лабораторных работах мы будем полагать все перечисленные факторы, влияющие на количество выбросов, неизменными за исключением режима работы двигателя.

## **Лабораторная работа № 1**

### **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА КОЛИЧЕСТВО ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ, ВЫБРАСЫВАЕМЫХ В АТМОСФЕРУ**

**Цель работы:** Определить степень влияния режима движения автомобиля на величину выбросов основных загрязнителей.

### Теоретические сведения

Прежде чем перейти к рассмотрению существа дела, определим основные используемые термины.

Скоростная характеристика двигателя - зависимость мощности, крутящего момента, расхода топлива и других показателей двигателя от частоты вращения коленчатого вала при постоянном положении органа топливоподачи. Характеристики, полученные при полной подаче топлива, называются внешними скоростными характеристиками.

Режим работы ДВС - совокупность скоростного (частота вращения коленчатого вала) и нагрузочного (преодолеваемое внешнее сопротивление) состояний двигателя. В сетке координат “частота вращения” - “нагрузка” режим работы двигателя изображается точкой.

Поле рабочих режимов ДВС - совокупность всех возможных стационарных режимов работы двигателя. В сетке координат “частота вращения” - “нагрузка” поле рабочих режимов упрощенно можно представить замкнутой областью, ограниченной слева вертикальной линией, соответствующей минимально возможной частоте вращения коленчатого вала двигателя, справа - вертикальной линией, соответствующей максимально допустимой частоте вращения коленчатого вала, сверху - внешней скоростной характеристикой, а снизу - кривой сопротивления неработающего двигателя принудительному прокручиванию (так называемой внешней тормозной характеристикой).

Если двигатель - источник выделения токсичных веществ, то автотранспортное средство, на котором установлен этот двигатель, можно интерпретировать как нагрузочное устройство для него. Другими словами, между режимом движения автомобиля и режимом работы двигателя существует однозначное соответствие. От характера движения автомобиля зависит то, в какой области поля рабочих режимов должен работать двигатель. А этим, в свою очередь, определяются его экономичность и токсичность. Данная лабораторная работа посвящена изучению именно этого соответствия.

Характер движения любого автотранспортного средства зависит от множества факторов, которые условно можно разделить на внешние и внутренние. К внешним относятся в первую очередь интенсивность, состав и

средняя скорость транспортного потока, микро- и макропрофиль дороги, количество перекрестков и светофоров, наличие помех движению, погодные условия и др. К внутренним факторам относятся динамические качества самого АТС и стиль управления им, что в свою очередь зависит от цели, стоящей перед водителем, его навыков, темперамента и т.п.

В данной лабораторной работе модель автомобиля задается в варианте задания, а внешние факторы представлены режимами установившегося движения по горизонтальной дороге с различными скоростями, а также двумя вариантами разгона автомобиля с места до скорости 60 км/ч.

### **Порядок выполнения работы**

- 1) Ознакомьтесь с руководством пользователя программного комплекса «Автомобиль».
- 2) Запустите программу.
- 3) В соответствии с вариантом задания, выберите необходимую марку автомобиля и двигателя. Проверьте правильность значений параметров конструкции.
- 4) Установите «установившийся» режим движения.
- 5) Проведите расчет и перейдите в режим просмотра результатов.
- 6) Перерисуйте зависимости выбросов токсичных соединений от скорости установившегося движения, а также схему режимов работы двигателя на этих скоростях.
- 7) Вернитесь в режим редактирования исходных данных и установите режим движения «разгон до заданной скорости». Установите заданное значение конечной скорости разгона и определите первый вариант алгоритма управления.
- 8) Выполните расчет, перейдите в режим просмотра результатов и перепишите значения пройденного пути, времени разгона и выбросов токсичных веществ. Перерисуйте схему режимов работы двигателя.
- 9) Проведите аналогичным образом расчет разгона автомобиля, установив параметры второго варианта алгоритма управления двигателем и коробкой передач. Перепишите результаты, перечисленные в п. 8.
- 10) Рассчитайте средние выбросы токсичных веществ, приходящиеся на 1 км пути (г/км), при обоих вариантах разгона.

11) По полученным результатам составьте итоговую таблицу. Сопоставьте значения расхода топлива и выбросов загрязнителей с режимами работы двигателя.

12) Напишите выводы по работе. Ответьте на контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы**

- 1) Что такое «скоростная характеристика» двигателя? В чем состоит особенность «внешней скоростной характеристики» двигателя?
- 2) Что такое «режим работы двигателя»? Как он связан с режимом движения автомобиля?
- 3) Чем определяется «поле рабочих режимов» двигателя?
- 4) В каких условиях движения выбрасывается большее количество загрязнителей (и каких именно) из расчета на 1 км пробега?
- 5) Какое токсичное соединение более «чувствительно» к изменению режима движения?
- 6) В какой области поля рабочих режимов работает двигатель большую часть времени при движении автомобиля по магистрали? А в городе? Как связаны между собой количество выбросов и область работы двигателя?

## **Лабораторная работа № 2**

### **ФОРМИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОКСИЧНОСТИ ДЛЯ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ. ПРОБЕГОВЫЕ ВЫБРОСЫ**

**Цель работы:** Изучение методики определения нормативных показателей токсичности легковых автомобилей в ездовых циклах.

#### **Теоретические сведения**

В предыдущей лабораторной работе было показано, что расход топлива и величина выбросов загрязнителей сильно зависят от режима движения автомобиля. Но тогда возникает вопрос, какой режим выбрать для определения этих показателей при сравнении автомобилей разных марок между собой или при проверке соответствия конструкции автомобиля нормативным требованиям? Ведь для сравнения необходимо создать одинаковые условия, иначе вся процедура теряет смысл. Приходится прибегать к помощи осреднения. Для

заданных условий (городских или загородных) проводят многочисленные заезды, регистрируя при этом скорость движения, пройденный путь, ускорения, моменты переключения передач и другие параметры. Позже определяют средние характеристики этапов движения (разгона, замедления, холостого хода, равномерного движения) и формируют так называемый типичный ездовой цикл. Элементарный ездовой цикл (рис. 2) состоит всего из 4-х перечисленных выше этапов движения. На практике, для повышения представительности цикла, используют более сложные комбинации этапов.

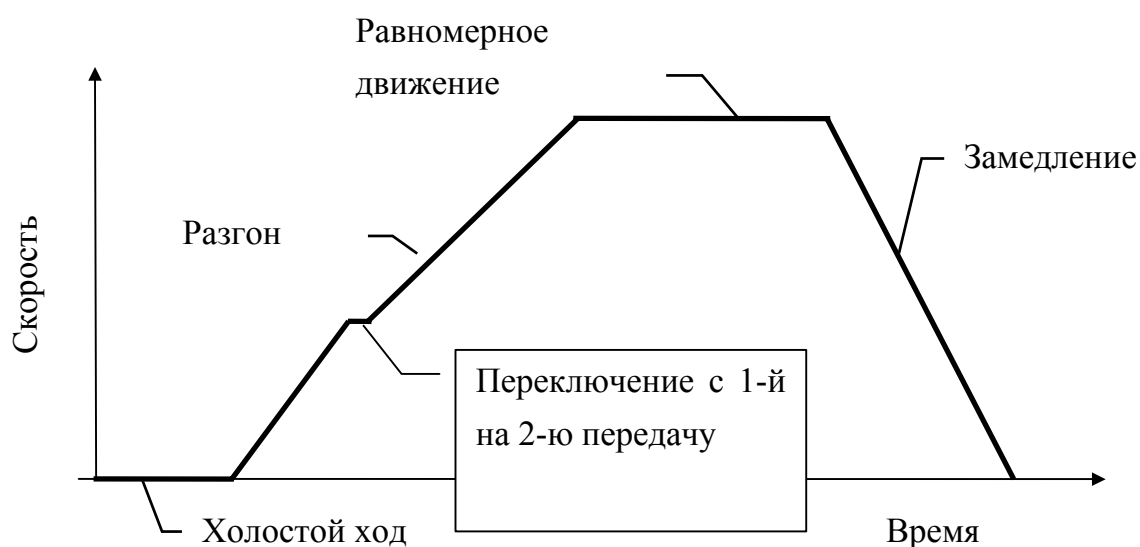


Рис. 2. Элементарный ездовой цикл

В нашей стране ездовые циклы используются для определения экономичности всех типов автотранспортных средств (ГОСТ 20306-90) и для оценки количества выбросов CO, CH, NO<sub>x</sub> и твердых частиц АТС, полной массой менее 3,5 тонн (Правила № 83 ЕЭК ООН). В США для испытаний легковых автомобилей принят свой, несколько другой ездовой цикл, в Японии — свой, поэтому непосредственно сравнивать значения контрольных показателей, относящихся к этим циклам, нельзя.

При определении количества вредных выбросов, автомобиль устанавливают на специальный стенд с беговыми барабанами, создающими нагрузку, эквивалентную сопротивлению движения автомобиля по

горизонтальной дороге. Водитель-испытатель производит несколько тренировочных заездов, стараясь как можно точнее выполнить заданный ездовой цикл. После этого проводят не менее 3-х контрольных «заездов» с измерением массы выбросов за весь ездовой цикл. Полученную величину делят на пройденное за цикл расстояние и получают значение среднего **пробегового выброса** каждого токсичного соединения в размерности «г/км». Проведение испытаний на стационарном стенде, а не на дороге, позволяет более жестко выдерживать требования к метеоусловиям и применять более точную газоаналитическую аппаратуру.

Для каждой категории АТС Правилами № 83 ЕЭК ООН устанавливаются процедуры и предельные нормы выбросов вредных веществ. Например, в соответствии с этими правилами, действие которых распространяется и в России, пробеговые выбросы загрязняющих веществ (г/км) автомобилями полной массой не более 2,5 тонн и числом мест не более 6, работающих на неэтилированном бензине или дизельном топливе, не должны превышать предельных значений (табл. 1).

Таблица 1.

## Требования к уровню пробеговых выбросов легковых автомобилей.

Загрязнитель	Официальное утверждение	Серийная продукция
СО	2,72	3,16
СН+NO <sub>x</sub>	0,97	1,13
Частицы (только для дизельных АТС)	0,14	0,18

Однако пробеговые выбросы загрязнителей – не единственный тип контрольных показателей, регламентированный Правилами № 83 ЕЭК ООН. В зависимости от категории транспортного средства используются еще четыре типа испытаний:

- 1) контроль выброса СО с отработавшими газами при работе двигателя на холостом ходу,
- 2) контроль выброса картерных газов (на трех режимах),
- 3) контроль выброса углеводородов с испарениями из системы питания автомобиля,



- 4) контроль надежности противотоксичных систем в ходе наработки километража в объеме 80 тыс. км.

В данной лабораторной работе изучаются только некоторые стандартные ездовые циклы.

### **Порядок выполнения работы**

- 1) Запустите программу. Войдите в режим редактирования, выберите модель автомобиля и двигателя в соответствии с вариантом задания.
- 2) Установите «стандартный» режим движения, после чего необходимо выбрать «ездовой цикл ЕЭК ООН 15».
- 3) Проведите расчет, войдите в режим просмотра результатов, перепишите название цикла, значения средней скорости и пути цикла, расхода топлива и выбросов токсичных веществ. Перерисуйте график ездового цикла и схему режимов работы двигателя.
- 4) Повторите расчет и запишите результаты, устанавливая последовательно «ездовой цикл ЕЭК ООН 83» и «ездовой цикл FTP-75».
- 5) Полученные результаты сведите в итоговую таблицу.
- 6) Сделайте выводы по работе, ответьте на контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы**

- 1) Что такое «ездовой цикл»? Из каких этапов состоит элементарный ездовой цикл?
- 2) Для каких целей разработаны стандартные ездовые циклы?
- 3) Какие типы АТС испытывают на стендах с беговыми барабанами? В чем заключаются преимущества таких испытаний?
- 4) Можно ли непосредственно сравнивать европейские и американские нормы выбросов токсичных веществ?
- 5) Каким образом определяются экологические характеристики автомобиля по Правилам № 83 ЕЭК ООН?
- 6) Каким образом и насколько отличаются значения выбросов при испытаниях заданной вам модели автомобиля по различным циклам?
- 7) Почему существующие нормы установлены на суммарный выброс углеводородов и окислов азота ( $CH + NO_x$ ), а не на каждое вещество в отдельности?

## Лабораторная работа № 3

### ФОРМИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОКСИЧНОСТИ ДЛЯ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ. УДЕЛЬНЫЕ ВЫБРОСЫ

**Цель работы:** Изучение методики испытаний большегрузных автомобилей на токсичность ОГ.

#### Теоретические сведения

Нагрузочная характеристика двигателя - зависимость основных показателей его работы от нагрузки, определяемая при постоянной частоте вращения коленчатого вала.

Серию нагрузочных характеристик, снятых при различных частотах вращения коленчатого вала, можно перестроить в виде многопараметровой характеристики - зависимости какого-либо показателя работы двигателя в сетке двух координат: "частота вращения" - "нагрузка". При этом графическое изображение изменения показателя представляет собой набор изолиний, т.е. линий постоянного значения данного показателя. Построенная относительно выбросов вредных веществ, такая характеристика называется токсической характеристикой двигателя автомобиля.

В предыдущей лабораторной работе были рассмотрены методы оценки токсичности автомобилей полной массой не более 3,5 тонн. Но каким образом оценивать токсичность ОГ АТС полной массой свыше 3,5 т? Результаты дорожных испытаний АТС данного типа обладают неприемлемо большой погрешностью, а метод испытаний на стендах с беговыми барабанами требует наличия более "мощных" стендов. Поэтому в настоящее время нормируются выбросы не автотранспортного (большегрузного) средства, а двигателя, предназначенного для установки на этот тип АТС. При этом испытания проводят, установив двигатель на обычный моторный стенд и используя более точное стационарное газоаналитическое оборудование.

Но как указывалось выше, токсичность ОГ очень сильно зависит от режима, на котором работает двигатель. Снова возникает вопрос о выборе «равных условий» испытаний. Здесь, опять же, не обойтись без осреднения. Выбираются несколько характерных режимов работы ДВС, на которых и

измеряют токсичность ОГ. Затем присваивают каждому режиму свое значение коэффициента весомости, отражающему повторяемость данного режима при работе двигателя в процессе эксплуатации. И, наконец, определяют среднее значение токсичности для всех режимов с учетом весомости каждого. Режимы работы ДВС и их весомость определяет конкретная методика испытаний (Рис. 3).

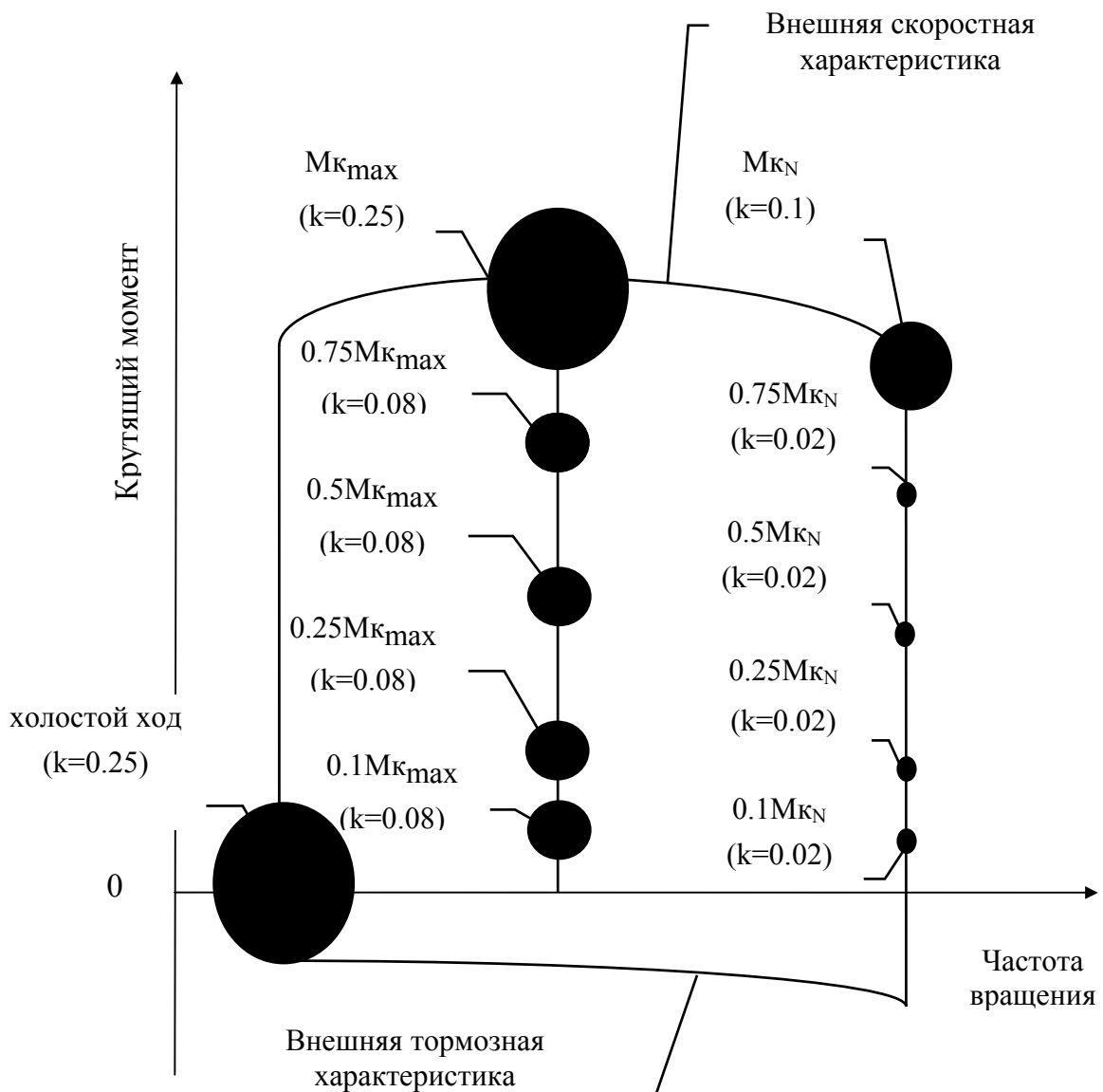


Рис. 3. Режимы испытаний двигателя по Правилам № 49 ЕЭК ООН

Для сравнения с установленными нормами рассчитывают показатель **удельного выброса**  $q_{(CO,CH,NOx)}$  (г/кВтч) токсичного вещества по следующей формуле:

$$q_{(CO,CH,NOx)} = \frac{\sum_{i=1}^{13} (M_{(CO,CH,NOx)i} \cdot k_i)}{\sum_{i=1}^{13} (N_{ei} \cdot k_i)},$$

где  $M_{(CO, CH, NOx)i}$  - массовый выброс токсичного вещества (г/ч) на  $i$ -том режиме;  $N_{ei}$  - мощность, развиваемая двигателем на  $i$ -том режиме, кВт;  $k_i$  - коэффициент весомости  $i$ -того режима.

Чтобы получить официальное утверждение, каждая новая модель двигателя, предназначенного для установки на автомобиль полной массой более 3,5 тонн, должна иметь значения удельных выбросов (г/кВтч), не превышающие нормативных величин (Табл. 2).

Таблица 2

Требования к токсичности отработавших газов двигателей большегрузных автомобилей

Загрязнитель	EURO1 (с 01.07.92)	EURO 2 (с 01.10.95)	EURO 3 (к 2000 г)
CO	4,5	4,0	2,0
CH	1,1	1,1	0,6
NO <sub>x</sub>	8,0	7,0	6,0
Частицы	0,36	0,15	0,1

Для проверок большегрузных АТС, находящихся в эксплуатации, нормируют величину дымности ОГ. При этом замеры производят на режимах внешней скоростной характеристики, максимальной частоты вращения холостого хода и свободного ускорения.

Задача данной лабораторной работы - оценить соответствие режимов работы двигателя при испытаниях и режимов, на которых двигатель большегрузного АТС работает при выполнении различных ездовых циклов.

### **Порядок выполнения работы**

- 1) Запустите программу, войдите в режим редактирования общих исходных данных, выберите марку АТС и двигателя в соответствии с вариантом задания.
- 2) Перейдите в режим редактирования данных по двигателю. Выведите на экран и перерисуйте нагрузочные характеристики по расходу топлива, воздуха и одного из токсичных веществ (в соответствии с вариантом задания) для одной любой частоты вращения коленчатого вала двигателя.
- 3) Выведите на экран и перерисуйте многопараметровую характеристику заданного вам вещества.
- 4) Выберите методику расчета удельных выбросов по Правилам № 49 ЕЭК ООН, проведите расчет и перепишите протокол.
- 5) Нанесите режимы испытаний на многопараметровую характеристику (см. Рис. 3).
- 6) Вернитесь в режим редактирования общих данных, выберите «Городской цикл для АТС массой более 3,5 т» и проведите расчет движения автомобиля.
- 7) Выберите режим просмотра результатов, перепишите значение пробегового выброса заданного вам вещества и перенесите режимы работы двигателя на вашу многопараметровую характеристику.

### **Контрольные вопросы**

- 1) Что такое «нагрузочная характеристика» двигателя? Объясните характер протекания нагрузочной характеристики заданного вам токсичного вещества.
- 2) Что показывает «токсическая характеристика» двигателя?
- 3) Что такое «удельные выбросы» токсичных соединений двигателя?
- 4) Каким образом определяется нормативный показатель токсичности ОГ двигателей по Правилам № 49 ЕЭК ООН?
- 5) Насколько точно соответствуют режимы испытаний по Правилам № 49 ЕЭК ООН режимам работы двигателя при движении автомобиля по городскому ездовому циклу?

## Лабораторная работа № 4

### ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЯ НА КОЛИЧЕСТВО ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ

**Цель работы:** Изучение влияния некоторых параметров конструкции автомобиля на количество вредных выбросов.

#### Теоретические сведения

Программный комплекс «Автомобиль» разработан с использованием положений теории прямолинейного движения АТС, подробно изложенной в [4]. Собственно алгоритм расчета достаточно подробно описан в [5].

Задачей данной лабораторной работы является определение количественных зависимостей выброса загрязнителей от различных параметров конструкции автомобиля.

#### Порядок проведения работы

- 1) Запустите программу, выберите заданную в варианте модель автомобиля и двигателя.
- 2) Отредактируйте необходимые параметры конструкции в соответствии с вариантом задания.
- 3) Проведите расчет движения автомобиля по магистральному и городскому циклам, записывая значения выбросов токсичных веществ.
- 4) Измените значение исследуемого параметра на указанную в варианте величину и повторите расчеты. Запишите результаты.
- 5) Прodelайте процедуру предыдущего пункта еще раз, соответственно изменив значение исследуемого параметра. Не забудьте записать результаты!
- 6) Постройте графики зависимости выбросов каждого токсичного вещества от исследуемого параметра.
- 7) Напишите выводы по работе. Ответьте на контрольные вопросы.

#### Контрольные вопросы

- 1) Объясните полученные в ходе лабораторной работы зависимости.
- 2) Отличаются ли полученные в работе зависимости выбросов от параметра конструкции АТС для городского и магистрального циклов? Если да, то почему?

## Литература

1. Небел Б. Наука об окружающей среде: как устроен мир: В 2-х т. Пер. с англ. - М.: Мир, 1993.
2. Якубовский Юзеф. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды. – М.: Транспорт, 1979. – 198 с.
3. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Экологическое воздействие автомобильных двигателей на окружающую среду// Итоги науки и техники, ВИНТИ. Сер. Автомобильный и городской транспорт. Том 17, 1993. — С. 1 – 136.
4. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
5. 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.

## Оглавление

Общие сведения .....	3
Основные загрязнители воздуха, выбрасываемые автомобилями, и их влияние на человека и окружающую среду .....	4
Механизм образования основных загрязнителей .....	6
Образование оксида и диоксида углерода .....	7
Эмиссия углеводородов .....	8
Образование твердых частиц.....	8
Образование оксидов азота.....	10
Факторы, влияющие на количество вредных выбросов ДВС .....	11
Лабораторная работа № 1. ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА КОЛИЧЕСТВО ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ, ВЫБРАСЫВАЕМЫХ В АТМОСФЕРУ .....	11
Теоретические сведения.....	12
Порядок выполнения работы.....	13
Контрольные вопросы .....	14
Лабораторная работа № 2. ФОРМИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОКСИЧНОСТИ ДЛЯ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ. ПРОБЕГОВЫЕ ВЫБРОСЫ .....	14
Теоретические сведения.....	14
Порядок выполнения работы.....	17
Контрольные вопросы .....	17



Лабораторная работа № 3. ФОРМИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОКСИЧНОСТИ ДЛЯ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ. УДЕЛЬНЫЕ ВЫБРОСЫ.....	18
Теоретические сведения.....	18
Порядок выполнения работы.....	21
Контрольные вопросы.....	21
Лабораторная работа № 4. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЯ НА КОЛИЧЕСТВО ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ.....	22
Теоретические сведения.....	22
Порядок проведения работы.....	22
Контрольные вопросы.....	22
Литература.....	23
Оглавление.....	24