

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## **ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОЛОГИЯ**

Методические указания к лабораторным работам  
по дисциплине "Отраслевая экология"  
для студентов специальности 1-37 01 01 "Двигатели внутреннего сгорания"  
дневной и заочной форм обучения

Минск 2006

УДК 540.61: 621.43(076.5)

ББК 20.1я 73-5

М54

Настоящее издание включает в себя указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине "Отраслевая экология" для студентов специальности "Двигатели внутреннего сгорания". Приводятся общие положения по организации проведения лабораторных работ и требования к содержанию и оформлению отчета. В каждой работе приводятся основные положения из теории изучаемого вопроса и даются методики проведения испытаний.

Составитель :

Альферович Владимир Викентьевич, доцент кафедры  
«Двигатели внутреннего сгорания» БНТУ,  
кандидат технических наук.

Рецензенты:

Дорожко Сергей Владимирович, заведующий кафедрой  
«Экологии» БНТУ, кандидат технических наук;

Бармин Виталий Александрович, доцент кафедры  
«Двигатели внутреннего сгорания» БНТУ,  
кандидат технических наук.

## ВВЕДЕНИЕ

Решение задачи повышения экологических показателей ДВС приводит к необходимости внедрения в отечественное двигателестроение различных методов снижения токсичности отработавших газов (ОГ). Применяются методы позволяющие воздействовать на рабочий процесс двигателя таким образом, чтобы предотвратить образование в камере сгорания (КС) повышенных концентраций токсичных компонентов ОГ. Другая группа методов направлена на улавливание или нейтрализацию уже образовавшихся токсичных компонентов в выпускной системе ДВС. Но поскольку очистка и нейтрализация ОГ являются недостаточными для удовлетворения современных жестких требований к токсичности ОГ, необходимо применять их в сочетании с методами первой группы. К последним относятся и методы улучшения качества рабочего процесса двигателя с применением различных систем автоматического управления и регулирования.

Впервые нормирование токсичности ОГ и картерных газов было введено в 1959г. в штате Калифорния (США). В 1968г. на основе этого стандарта был утвержден Государственный (федеральный) стандарт. В 1970г. Европейской Экономической комиссией ООН были рекомендованы единые для государств Европы Правила оценки токсичности ОГ и картерных газов. В СССР нормирование токсичности началось в 1970г. (ГОСТ16533-70).

Стандарты приняты во многих странах мира. Например, в Беларуси и России – государственные (ГОСТы). Есть и международные стандарты, используемые либо в качестве национальных, либо наряду с последними. Наиболее широко в мире применяются Правила ЕЭК ООН (ECE – Economic Commissions for Europe – Европейская Экономическая Комиссия Организации Объединенных Наций), стандарты Международной организации по стандартизации (ISO – International Standards Organization) и предписания ЕПА (Environmental Protection Agency – Агенство по защите окружающей среды, США).

В приложениях А и Б приведены некоторые основные стандарты, определяющие методы испытаний и нормы предельных выбросов вредных веществ (ВВ).

## **ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

### Правила выполнения работ

Перед началом лабораторных работ студенты проходят обязательный инструктаж по технике безопасности. Инструктаж проводится преподавателем на первом занятии в каждой лаборатории и регистрируется в специальном журнале. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к работе в лаборатории не допускаются.

Каждая лабораторная работа рассчитана на два или четыре академических часа и включает:

- а) проверку самостоятельной подготовки студентов к работе;
- б) изложение преподавателем целей и содержания работы;
- в) выполнение работы;
- г) обработку результатов работы с оформлением протокола испытаний и построением схем и графиков;
- д) защиту оформленной работы.

К каждой лабораторной работе студенты должны предварительно самостоятельно изучить по настоящим методическим указаниям основные положения, описание и методику выполнения работы, приборы и оборудование необходимые для её проведения, а также подготовить протоколы (таблицы) для регистрации результатов работы.

До начала проведения очередной работы преподавателем проводится индивидуальный опрос студентов в объеме материала, изложенного в «Методических указаниях». Студенты, не прошедшие проверку, могут быть не допущены к выполнению работы.

Для выполнения работ студенты делятся на отдельные подгруппы и распределяются по рабочим местам.

В процессе выполнения работ студенты проводят необходимые измерения с записью результатов в протоколе (таблицах), изучают ход проведения работы и закрепляют теоретические знания. Результаты выполненной работы представляются преподавателю для проверки.

Каждый студент оформляет отчет по лабораторной работе.

### Содержание отчета по лабораторной работе

На титульном листе отчета указывается:

- наименование учебного заведения и кафедры, в учебной лаборатории которой выполняется лабораторная работа;
- номер учебной группы;
- название лабораторной работы;
- наименование курса (дисциплины), по которому выполняется работа;
- фамилии и инициалы исполнителя (студента) и руководителя (преподавателя).

На следующих страницах указываются:

- цель работы и краткая методика её выполнения;
- расчетные формулы;
- протокол испытаний;
- необходимые схемы и диаграммы:

Диаграммы строят на миллиметровой бумаге формата А4 (размером 210x297 мм.) с выполнением поля, рамки, штампа и заголовка диаграммы. Требования к выполнению диаграмм изложены в Р 50-77-88 “Правила выполнения диаграмм”. На осях координат надо наносить равномерные масштабные шкалы и обозначать размерность для каждого параметра. Если на графике нанесено несколько кривых, каждая из них должна быть обозначена условным индексом. Экспериментальные точки на графиках, полученные в результате непосредственного измерения, необходимо выделять. По полученным данным в результате опытов строятся кривые с соблюдением правил графического осреднения экспериментальных данных. При подсчете производных величин в соответствующие формулы подставляются значения величин, взятых по координатам точек, лежащих на скорректированных кривых;

- анализ результатов, вывод и заключение по работе;
- перечень использованных источников.

Более подробно требования по содержанию и оформлению отчета по лабораторной работе изложены в Стандарте предприятия СТП 10-02.01-87.

## Лабораторная работа № 1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

#### 1. Цель работы

Освоение методик определения дымности отработавших газов (ОГ) дизелей согласно требованиям межгосударственных стандартов СНГ и международных стандартов при работе двигателя на установившихся режимах.

#### 2. Задание

2.1 Изучить оборудование, применяемое для определения дымности ОГ дизелей.

2.2 Ознакомится с методами проведения испытаний по определению дымности ОГ дизелей согласно:

– ГОСТ 17.2.2.01-84 «Дизели автомобильные. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерения»;

– ГОСТ 17.2.2.02-98 «Нормы и методы измерения дымности отработавших газов дизелей тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин»;

– Правилom ЕЭК ООН 24-03 «Единые предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия и автотранспортных средств с двигателями с воспламенением от сжатия в отношении выброса видимых загрязняющих веществ».

2.3 Провести испытания дизеля с целью определения дымности ОГ по методике одного из стандартов.

#### 3 Теоретические положения

##### 3.1 Общие положения

Дымность ОГ дизелей обуславливается в основном содержанием в ОГ сажи – продукта неполного сгорания дизельного топлива, представляющего собой углерод. Сажа образуется в результате пиролиза (разложения) углеводородных молекул при высокой температуре и отсутствии кислорода. Маслянистые частицы дизельной сажи несут на себе продукты неполного сгорания топлива и масла. Их размер колеблется от долей до десятков микрометров.

Сажа присутствует как в ОГ дизелей, так и бензиновых ДВС. Суммарная масса частиц сажи в ОГ дизелей гораздо больше, чем у бензиновых двигателей, а суммарная площадь всех частиц сажи в ОГ бензинового двигателя может превышать аналогичный параметр дизельной сажи.

Дымность ОГ нормируется только для дизелей и измеряется на установившихся и переходных режимах. Установившийся режим характеризуется постоянством частоты вращения и крутящего момента в течении времени измерения. Переходной режим работы двигателя характеризуется изменением в тече-

нии времени частоты вращения или нагрузки, или обоих факторов одновременно. В том случае, если при изменении скоростного режима нагрузка на дизель отсутствует, то такой переходной режим называют режимом свободного ускорения.

Дымность ОГ дизелей зависит от согласования количеств подаваемого топлива и воздуха в камеру сгорания. Поскольку инерционность системы воздухообеспечения больше, происходит рассогласование количеств воздуха и топлива, подаваемых в КС, что приводит к неполному сгоранию топлива, а значит и к повышению дымности ОГ. Для исключения указанного на двигателях обычно применяют пневмокорректоры, которые ограничивают подачу топлива в случае недостаточного давления воздуха во впускном коллекторе.

### 3.2 Требования к средствам измерения

В приборах, предназначенных для измерения дымности отработавших газов, реализовано два различных принципа измерения – оптический и фильтрационный.

Оптический метод основан на измерении непрозрачности столба отработавших газов определенной длины (обычно – 0,43м), т.е. на измерении величины интенсивности поглощения пучка света, проходящего через указанный столб ОГ, что фиксируется фотодатчиком.

Фильтрационный метод основан на измерении степени почернения фильтра, через который пропускают определенный объем ОГ ( 0,3...1,0 л), что оценивается по величине интенсивности отраженного пучка света, направленного на поверхность фильтра.

В обоих случаях производится сравнение изменения величины электрического тока либо при прохождении пучка света через столб ОГ и через столб чистого воздуха той же длины, либо при отражении пучка света от поверхности чистого и загрязненного фильтров.

Для проведения испытаний по определению дымности отработавших газов дизелей, работающих на установившихся режимах, возможно применение обоих типов приборов, работающих как по оптическому (дымомеры), так и фильтрационному (сажемеры) методам.

Наибольшее применение при испытаниях по определению дымности отработавших газов находят приборы, работающие по оптическому принципу.

## 4 Методика проведения испытаний

### 4.1 Общие положения

Методика испытаний по определению дымности отработавших газов предусматривает предварительный прогрев двигателя до рабочих значений температур охлаждающей жидкости (не менее 60°С) и смазочного масла (не менее 75°С) или деталей двигателей воздушного охлаждения в контрольной точке (согласно ТУ на двигатель).

Испытания должны проводиться на топливе и масле согласно техническим условиям на двигатель или согласно требованиям нормативного документа и не содержать антидымных присадок.

Во время испытаний должны соблюдаться определенные требования к параметрам окружающей среды: барометрическому давлению, влажности, температуре, что оговаривается в соответствующих стандартах.

Перед проведением измерений дизель должен быть выведен на режим номинальной частоты вращения коленчатого вала при полной подаче топлива. На этом режиме значения сопротивлений воздушного заряда на впуске в дизель и отработавших газов на выпуске из дизеля должны соответствовать максимально допустимым согласно техническим условиям на дизель, если иное не оговаривается методикой испытаний. На остальных режимах указанные сопротивления будут составлять пропорциональные величины от указанных значений сопротивлений.

Дымность отработавших газов на установившемся режиме измеряется после предварительной работы дизеля на этом режиме не менее 4-5 минут. На каждом режиме измерение дымности ОГ производится неоднократно, но не менее 3 раз. При этом значения дымности отработавших газов не должны составлять убывающую или возрастающую последовательности. За результат измерения принимается среднее арифметическое значение всех проведенных измерений на данном режиме.

Перед началом и после окончания восьми измерений проверяют нулевое положение стрелки измерительного прибора. Если после окончания восьми измерений отклонение стрелки от нулевого положения превысит 1% в единицах измерения шкалы прибора, измерения повторяют.

#### 4.2 Стандартизованные испытания

Дизель считается соответствующим требованиям стандарта при выполнении нормативных требований на каждом режиме. При этом норматив дымности (указанные таблицы приведены в соответствующих нормативных документах) определяется:

– по ГОСТ 17.2.2.01–84 – из условного расхода отработавших газов  $G_{ог}$  в  $дм^3/с$  для каждого скоростного режима,

$$G_{ог} = i \cdot V_h \cdot n / 2 \text{ - для четырехтактных дизелей;}$$

$$G_{ог} = i \cdot V_h \cdot n \text{ - для двухтактных дизелей,}$$

где  $V_h$  – рабочий объем цилиндра,  $дм^3$ ;

$n$  – частота вращения коленчатого вала, измеряется при испытании, об/с;

$i$  – число цилиндров.

– по ГОСТ 17.2.2.02 – 98 – из условного расхода воздуха в  $дм^3/с$  для каждого скоростного режима, определяемая из выражения

$$G_g = \frac{i \cdot V_h \cdot n}{30 \cdot \tau},$$

где  $n$  – частота вращения, измеренная на соответствующем режиме, об/мин;

$\tau$  – тактность двигателя.

– по Правилам ЕЭК ООН 24-3 аналогично ГОСТ 17.2.2.01-84.



Методики проведения испытаний по оценке дымности ОГ на установившихся режимах отличаются значениями скоростного и нагрузочного режимов:

а) по ГОСТ 17.2.2.01-84 дымность ОГ измеряют на режимах внешней (т.е. при полной подаче топлива) скоростной характеристики от номинальной частоты вращения коленчатого вала (что оговаривается в технических условиях на двигатель) до большей из двух: 0,45 от номинальной или 1000 об/мин;

б) по ГОСТ 17.2.2.02-98 дымность ОГ измеряют на режиме внешней скоростной характеристики в диапазоне от номинальной частоты вращения коленчатого вала до соответствующей максимальному крутящему моменту.

в) по Правилам ЕЭК ООН №24-03 – на режиме внешней скоростной характеристики от номинальной частоты вращения коленчатого вала – до либо наибольшей из трех: 0,45 от номинальной, 1000 об/мин, минимального числа оборотов, допускаемого регулятором, либо до более низкой частоты вращения коленчатого вала (из трех упомянутых выше), устанавливаемой по усмотрению завода-изготовителя.

#### 4.3 Порядок проведения испытаний:

##### 4.3.1 Запустить дизель.

4.3.2 На частичном скоростном (0,7 – 0,8 от номинального) и нагрузочном (0,3 – 0,4 от режима полной подачи топлива) режимах прогреть двигатель до температур охлаждающей жидкости и масла не менее 60 и 75°C соответственно.

4.3.3 Прогретый дизель вывести на режим номинальных оборотов коленчатого вала и полной подачи топлива. Установить значения сопротивлений на входе во впускной коллектор и на выходе из выпускного коллектора, равные максимальным согласно техническим условиям на дизель.

4.3.4 Зафиксировать значения крутящего момента и расхода топлива на вышеуказанном режиме, а также крутящего момента на режиме соответствующем максимальному крутящему моменту. Для стандартизованных испытаний приведенные к стандартным атмосферным условиям значения указанных параметров должны соответствовать требованиям технических условий на двигатель. В противном случае испытания не могут считаться действительными.

4.3.5 Установить номинальный скоростной режим при полной подаче топлива. Через 5 минут провести измерение дымности отработавших газов, обратив внимание на показатели избыточного давления в измерительной камере (должно быть 30 – 70 мм вод. ст.) и температуры ОГ в измерительной камере (должно быть не менее 100°C). Данное измерение повторить не менее 3 раз, обратив внимание на то, чтобы его результаты не составляли убывающую или возрастающую последовательности.

4.3.6 Согласно методике применяемого стандарта последовательно установить требуемые режимы, повторив измерения согласно п.4.3.5 настоящего раздела.

#### 4.4 Допускаемые нормы дымности

Согласно ГОСТ 17.2.2.01-84 дымность ОГ автомобильных дизелей после 01.01.88 не должна превышать предельно допускаемые нормы, указанные в табл. 1, в зависимости от условного расхода отработавших газов  $G_{OG}$  при испы-

тании на установившихся режимах. Промежуточные значения определяют интерполированием.

Таблица 1- Предельно допускаемые нормы (ГОСТ 17.2.2.01-84)

Условный расход отработавших газов $G_{OG}$ , $dm^3/c$	Предельно допустимые нормы дымности отработавших газов, $K_{доп}$ , %, не более
До 42 включ.	60
50	56
75	50
100	45
125	41
150	39
175	37
200	35
Св. 200	34

Согласно Правил ЕЭК ООН 24-3 дымность ОГ тракторных дизелей не должна превышать предельно допустимые нормы, указанные в табл. 2, в зависимости от условного расхода отработавших газов  $G_{OG}$ . Численные значения предельно допустимых норм дымности ОГ и условного расхода воздуха, регламентируемых ГОСТ 17.2.2.02-98, соответствуют данным табл.2. Промежуточные значения определяют интерполированием.

Таблица 2- Предельно допускаемые нормы (Правила ЕЭК ООН 24-3)

Условный расход отработавших газов, $G_{OG}$ , л/с	Предельно допустимые нормы дымности отработавших газов, $N$ , %
42 и менее	62,2
50	59,1
75	52,3
100	47,4
125	43,9
150	40,9
175	38,7
200 и более	36,7

4.5 Результаты измерений занести в протокол испытаний (табл. 3), а затем для результатов, полученных на установившихся режимах, построить график зависимости дымности ОГ от частоты вращения коленчатого вала. На этот же график нанести линию предельно допустимых значений дымности согласно соответствующему стандарту.

Таблица 3 - Протокол испытаний по измерению дымности ОГ двигателя на установившихся режимах

Характеристика режима работы дизеля				Результаты измерений			Среднее значение	Предельное значение дымности	Примечание
Частота вращения $n$ , $\text{мин}^{-1}$	$M_k$ $\text{Н}\cdot\text{м}$	$N_e$ , $\text{кВТ}$	$G_{\text{ОГ}}$ $\text{л/с}$	$K_1$ , %	$K_2$ , %	$K_3$ , %	$K$ , %	$K_{\text{доп}}$ , %	

### Контрольные вопросы

1. Какие бывают методы измерения дымности отработавших газов?
2. В каких единицах измеряют дымность отработавших газов?
3. В чем основное отличие стандартов по оценке дымности отработавших газов между собой?
4. В чем причина образования сажи в ДВС?
5. В чем отличие дизельной сажи от промышленной?
6. Каков размер частиц дизельной сажи?
7. Каковы требования к дизелю при проведении испытаний?

## Лабораторная работа № 2

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ НА НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

### 1 Цель работы

Освоение методик определения дымности ОГ дизелей согласно требованиям межгосударственных стандартов СНГ и международных стандартов при работе двигателя на неустановившихся режимах.

### 2 Задание

2.1 Изучить методики проведения испытаний по определению дымности ОГ дизелей согласно ГОСТ 17.2.2.01-84, ГОСТ 17.2.2.02-98 и Правила ЕЭК ООН 24-03.

2.2 Провести испытания двигателя с целью определения дымности ОГ по методике одного из стандартов.

### 3 Теоретические положения

#### 3.1 Общие положения

Механизм образования дыма в ОГ дизелей см. лаб. работу №1. Переходной режим характеризуется изменением в течении времени частоты вращения или нагрузки, или обоих параметров одновременно. Если при изменении частоты вращения нагрузка отсутствует, то такой переходной режим называют режимом свободного ускорения.

Дымность ОГ дизелей зависит от согласования количества подаваемого топлива и воздуха в камеру сгорания. И если для установившихся режимов подобное соотношение выдерживается за счет соответствующих регулировок систем топливоподачи и газообмена, то для переходных режимов это соотношение может нарушаться. Связано это с большей инерционностью системы газообмена. Поэтому при практически мгновенном изменении цикловой подачи топлива при увеличении нагрузки или частоты вращения, происходит снижение коэффициента избытка воздуха. В результате возрастает дымность ОГ. Для согласования подачи топлива и воздуха на переходных режимах на двигателях обычно применяют пневмокорректоры – устройства, ограничивающие подачу топлива в случае недостаточного давления воздуха во впускном коллекторе.

#### 3.2 Требования к средствам измерения

Общие требования к средствам измерения см. лаб. работу №1.

Дымность отработавших газов дизелей при работе последних на переходных режимах определяется с помощью только приборов, работающих по оптическому методу (дымомеров), поскольку фильтрационный метод не позволяет отслеживать изменение дымности ОГ в течение некоторого промежутка времени, и поэтому невозможно зафиксировать максимальное значение дымности отработавших газов. Таким образом, отличительной особенностью приборов,

способных оценивать дымность ОГ дизеля, работающего на переходном режиме, является возможность отслеживания изменения дымности отработавших газов во время изменения скоростного или нагрузочного режимов (для случая свободного ускорения это время составляет не более 5 секунд). В современных приборах обеспечивается автоматическая фиксация максимального значения дымности ОГ, а в некоторых – осуществляется запись изменения значения дымности ОГ в течении переходного режима.

#### 4 Методика проведения испытаний

##### 4.1 Общие положения

Порядок подготовки двигателя к испытаниям, требования к топливу, маслу, параметрам окружающей среды и другим параметрам см. лаб. работу №1.

ГОСТ 17.2.2.01-84, ГОСТ 17.2.2.02-98 и Правила ЕЭК ООН 24-3 предусматривают измерение дымности ОГ на режиме свободного ускорения. Методики испытаний по этим стандартам практически идентичны, они регламентируют оценку дымности на режиме свободного ускорения, т.е. без определенных требований к соответствию изменения скоростного и нагрузочных режимов.

Согласно ГОСТ 17.2.2.01-84 для безнаддувных дизелей дымность на режиме свободного ускорения не должна превышать предельно допустимую норму дымности на установившемся режиме. Для двигателей с системой газотурбинного наддува дымность на режиме свободного ускорения не должна превышать предельные нормы, при которых она достигает максимального значения, измеренного при испытаниях на установившемся режиме, более чем на 10% в единицах измерения шкалы прибора.

Согласно ГОСТ 17.2.2.02-98 значения дымности на режиме свободного ускорения находящихся в эксплуатации тракторов и машин с безнаддувными дизелями, не должно быть больше норм, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 – Нормы дымности по ГОСТ 17.2.2.02-98

Условный расход воздуха, дм <sup>3</sup> /с	Дымность, %
42 и менее	69,5
50	67,0
75	61,5
80	60,6
85	59,8
90	59,0
95	58,3
100	57,6
200 и белее	49,0

Условный расход воздуха в дм<sup>3</sup>/с рассчитывают для номинальной частоты вращения по формуле

$$G_v = \frac{i \cdot V_h \cdot n}{30 \cdot \tau},$$

где  $V_h$  – рабочий объём цилиндра,  $\text{дм}^3$ ;

$n$  – частота вращения коленчатого вала, измеряется при испытании, об/мин;

$i$  – число цилиндров,

$\tau$  – тактность двигателя.

Согласно Правилам ЕЭК ООН № 24-03 для безнаддувных дизелей дымность на режиме свободного ускорения не должна превышать предельно допустимую норму дымности, установленную для конкретного типа дизеля на установившемся режиме. Для двигателя с системой газотурбинного наддува значение коэффициента поглощения, измеренное на режиме свободного ускорения, не должно превышать более чем на  $0,5 \text{ м}^{-1}$  предельное значение, предусмотренное для величины номинального светового потока, соответствующего максимальному коэффициенту поглощения, измеренному при испытаниях на установившемся режиме.

#### 4.2 Порядок проведения испытаний

4.2.1 Дымность на режиме свободного ускорения измеряют, по возможности, сразу после измерений дымности при установившемся режиме работы двигателя.

4.2.2 При измерении дымности на режиме свободного ускорения двигатель отсоединяют от тормоза испытательного стенда, но допускается проведение испытаний без указанного отсоединения.

4.2.3 Установить режим минимальных оборотов холостого хода (величина которых оговаривается в технических условиях на двигатель). При работе дизеля на данном режиме быстрым, но плавным перемещением до упора ручного привода рычага управления установить максимальную подачу топливного насоса. Такое положение должно сохраняться до включения регулятора и достижения максимальных оборотов двигателя, ограничиваемых регулятором. При этом по шкале измерительного прибора зафиксировать максимальное значение дымности. После этого подачу топлива уменьшить до установления исходной минимальной частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу.

4.2.4 После возвращения стрелки прибора в исходное положение режим свободного ускорения повторяют. Дымность на режиме свободного ускорения измеряют восемь раз. За результат измерения принимают среднее арифметическое четырех последних измерений, допустимая разность результатов которых не должна превышать 4% в единицах измерения шкалы прибора. Общая продолжительность восьми измерений не должна превышать 2,5 мин.

4.2.5 Результат измерений занести в протокол испытаний (табл.2).

Таблица 2 - Протокол испытаний по измерению дымности дизеля на режиме свободного ускорения

Номер замера	Измеренное значение дымности, %	Предельно допустимая норма дымности, %	Примечание
1			
2			
...			
8			

#### Контрольные вопросы

1. Что такое переходный режим?
2. Как реализуется режим свободного ускорения?
3. Приборами какого типа можно пользоваться при оценке дымности ОГ на переходных режимах?
4. От чего зависит дымность ОГ дизеля на переходных режимах?
5. Какие устройства используют для ограничения дымности ОГ на переходных режимах ?

## Лабораторная работа №3

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫБРОСОВ ГАЗООБРАЗНЫХ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА МОТОРНОМ СТЕНДЕ

### 1 Цель работы

Освоение методики определения содержания газообразных вредных веществ в отработавших газах поршневых двигателей внутреннего сгорания при проведении испытаний на моторном стенде.

### 2 Задание

2.1 Изучить оборудование, применяемое для определения содержания газообразных вредных веществ в отработавших газах двигателей при работе на моторном стенде.

2.2 Изучить методики проведения испытаний по определению выбросов газообразных вредных веществ с ОГ двигателей согласно нормативной документации.

2.3 Провести испытания двигателя с целью определения содержания газообразных ВВ в отработавших газах.

### 3 Теоретические положения

#### 3.1 Общие положения

При горении топлива в камере сгорания двигателя образуются как продукты неполного сгорания – углеводороды (общая формула  $C_nH_m$ ) и оксид углерода CO, так и продукты полного сгорания – диоксид углерода  $CO_2$  и пары воды  $H_2O$ .

Первые представляют собой не полностью окисленные исходные углеводороды топлива, а также продукты разложения высокомолекулярных углеводородов под воздействием высокой температуры и при недостатке кислорода. В отработавших газах двигателей насчитывают несколько сот различных видов углеводородов. Некоторый вклад в эмиссию углеводородов вносит смазочное масло, попадающее в КС со стенок цилиндра двигателя. Оксид углерода является продуктом неполного окисления углерода топлива кислородом воздуха.

Кроме того, в отработавших газах двигателей присутствуют остаточный (не полностью использованный при горении) кислород воздуха (не участвующий в горении), газообразные продукты окисления серы, а также оксиды азота в основном в виде оксида NO, представляющего собой продукт окисления азота воздуха кислородом воздуха; не более 5% от всех оксидов азота образуется за счет окисления азота, содержащегося в топливе, но это относится только к тяжелым видам топлива – мазутам, используемым в ти-



ходных двигателях. Оксид азота, попадая в атмосферу, начинает окисляться до диоксида азота  $\text{NO}_2$ .

Кроме вышеупомянутых газообразных составляющих отработавших газов, согласно современной нормативно-технической документации на состав ОГ, выделяют класс частиц (PM). Частицы – это все субстанции, находясь в смеси с чистым воздухом при максимальной температуре  $52\text{ }^\circ\text{C}$ , задерживаются фильтром из стекловолокна с тефлоновым покрытием, и не являются водой.

Существует два типа нормирования: по а) **санитарно-гигиеническим показателям** и б) **техническим показателям**.

Санитарно-гигиеническая норма – показатель, соблюдение которого гарантирует безопасность или оптимальные условия существования человека. Согласно ГОСТ 12.1.005-88, регламентирующему санитарно-гигиенические показатели, содержание различных веществ в воздухе не должно превышать определенного предела, т.е. оговариваются **предельно допустимые концентрации (ПДК)** этих веществ.

Технические показатели экологического уровня ДВС регламентируются различными нормативно-техническими документами: ГОСТ, Директивами, Правилами. В этих документах оговаривается **предельное значение удельного выброса с отработавшими газами** (т.е. содержание вредных веществ в ОГ, а не в их смеси с воздухом) того или иного компонента при условии проведения испытаний ДВС на определенных режимах на моторном стенде.

Строгого соответствия между санитарно-гигиеническими и техническими показателями не существует, хотя пропорциональная зависимость конечно есть. Первые назначаются исходя из требований обеспечения безвредности содержания в воздухе различных веществ, а вторые – исходя из технической возможности обеспечения содержания в отработавших газах двигателей вредных веществ на определенном уровне. Главная причина отсутствия строгой взаимосвязи между указанными показателями заключается в различных методиках измерения содержания ВВ в обоих случаях.

Нормирование содержания ВВ в отработавших газах ДВС в настоящее время проводится по пяти показателям: **оксидам азота  $\text{NO}_x$**  в пересчете на диоксид азота  $\text{NO}_2$ , **оксиду углерода CO**, **суммарным углеводородам** в пересчете на условный состав топлива  $\text{C}_1\text{H}_{1.85}$ , **частицам PM** и **дымности ОГ**.

В некоторых стандартах нормируют все углеводороды кроме метана: **неметановые углеводороды NMCH**.

В настоящей лабораторной работе рассматриваются вопрос измерения содержания только газообразных ВВ, но без рассмотрения отдельно вопроса нормирования метана.

Все вышеупомянутые вещества оказывают вредное воздействие на окружающую среду.

*Примечания: 1. В качестве единиц измерения концентрации вредных веществ в ОГ применяются проценты и  $\text{млн}^{-1}$  или ppm (part per million, т.е. частей на миллион). Соотношение между этими единицами:*

$10000 \text{ ppт} = 1\%$ . Единица измерения ppт применяется для малых концентраций компонентов (для  $\text{NO}_x$  и  $\text{C}_n\text{H}_m$ ), а проценты – для больших концентраций (для  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ), хотя возможно применение и кратных множителей для любой единицы измерения.

2. В качестве единиц измерения удельного выброса вредных веществ (массовый выброс на единицу мощности двигателя) применяется  $\text{г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ .

### 3.2 Требования к средствам измерения

Измерение содержания газообразных вредных веществ в ОГ двигателях проводится отбором части ОГ и химическим анализом указанной пробы в различных приборах – газоанализаторах. При этом газоанализатор может работать как постоянно (в автоматическом режиме), так и периодически – только во время обслуживания его оператором.

Выбор метода химического анализа, реализованного в средствах измерения, зависит от вида вещества, концентрацию которого необходимо измерить. В том случае, если одно и то же вещество подвергается разным видам химического анализа, результаты могут различаться, причем разница может составлять до нескольких десятков и даже сотен процентов. Именно поэтому в стандартах строго регламентируются метод химического анализа. При сравнении результатов измерения одного и того же вещества в разных организациях допустимым считается расхождение не более  $\pm 5\%$ .

В настоящее время наиболее широко распространены **недисперсионный метод** в инфракрасной части спектра для анализа оксида углерода, **хемилюминесцентный метод** для анализа оксидов азота и **пламенно-ионизационный** для анализа углеводородов.

### 3.3 Экспериментальная установка

Испытания по определению содержания газообразных вредных веществ в отработавших газах двигателей проводятся на моторном стенде.

### 3.4 Методика проведения испытаний

#### 3.4.1 Общие положения.

Методика испытаний по определению содержания в ОГ вредных веществ предусматривает предварительный прогрев двигателя до рабочих значений температур охлаждающей жидкости (не менее  $75^\circ\text{C}$ ) или деталей двигателей воздушного охлаждения в контрольной точке (согласно ТУ на двигатель).

Испытания должны проводиться на топливе и масле согласно техническим условиям на двигатель (или согласно требованиям нормативного документа) и не содержать антидымных присадок.

Во время испытаний должны соблюдаться определенные требования к параметрам окружающей среды: барометрическому давлению, влажности, температуре, что оговаривается в соответствующих стандартах.

Перед проведением измерений дизель должен быть выведен на режим номинальной частоты вращения коленчатого вала при полной подаче топли-

ва. На этом режиме значения сопротивлений воздушного заряда на впуске в дизель и отработавших газов на выпуске из дизеля должны соответствовать максимально допустимым согласно техническим условиям на дизель, если иное не оговаривается методикой испытаний. На остальных режимах указанные сопротивления будут составлять пропорциональные величины от указанных значений сопротивлений.

Измерение содержания вредных веществ в ОГ проводится после предварительной работы дизеля на этом режиме не менее 4-5 мин. На каждом режиме измерение состава отработавших газов осуществляется не менее 5 раз.

#### 3.4.2 Стандартизированные испытания

Нормативные документы различаются между собой по методикам проведения испытаний, методикам обработки экспериментальных данных, расчетным формулам (в т.ч. - по значениям коэффициентов весоности режимов – параметра, имеющего физический смысл доли времени, которое затрачено на работу дизеля на определенном режиме, относительно всего рабочего времени; сумма коэффициентов весоности в связи с этим всегда равна единице, т.е. 100% времени). Поэтому, даже если численное значение нормативов выбросов вредных веществ по различным стандартам может и совпадать, то это еще не говорит об одинаковой жесткости нормативов.

Методики проведения испытаний по различным стандартам отличаются по сочетаниям значений скоростного и нагрузочного режимов.

### 4 Порядок проведения испытаний по ГОСТ 17.2.2.05-97

4.1 ГОСТ 17.2.2.05-97 распространяется на вновь изготавливаемые, капитально отремонтированные и находящиеся в эксплуатации дизели тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин. Стандарт устанавливает нормы выбросов ВВ с ОГ и методы их измерения.

4.2 Порядок проведения испытаний должен осуществляться в следующей последовательности:

4.2.1 Запустить дизель.

4.2.2 На частичном скоростном (0,7-0,8 от номинального) и нагрузочном (0,3-0,4 от режима полной подачи топлива) режимах прогреть двигатель до температур охлаждающей жидкости и масла не менее 60 и 75°C соответственно.

4.2.3 Прогретый дизель вывести на режим номинальных оборотов коленчатого вала и полной подачи топлива. Установить значения сопротивлений на входе во впускной коллектор и на выходе из впускного коллектора, равные максимальным согласно техническим условиям на дизель.

4.2.4 Зафиксировать значения крутящего момента и расхода топлива на вышеуказанном режиме, а также крутящего момента на режиме, соответствующем максимальному крутящему моменту. Мощность дизеля не приводят к стандартным атмосферным условиям, температуре и плотности топлива.

4.2.5 Испытания проводят при атмосферных условиях, удовлетворяющих условию (1):

$$0,96 \leq F_A \leq 1,06, \quad (1)$$

где  $F_A$  - показатель окружающей среды.

Для дизелей без наддува или с механическим приводом компрессора:

$$F_A = \left( \frac{100}{B'_{окр}} \right) \left( \frac{T_{окр}}{293} \right)^{0,7}; \quad (2)$$

для дизелей с турбонаддувом без промежуточного охлаждения наддувочного воздуха:

$$F_A = \left( \frac{100}{B'_{окр}} \right)^{0,65} \left( \frac{T_{окр}}{293} \right)^{0,5}; \quad (3)$$

где  $B'_{окр} = B_{окр} - 0,01j_{окр} P_S$  - давление сухого воздуха, кПа;

$T_{окр}$  - температура окружающего воздуха, К;

$B_{окр}$  - атмосферное давление, кПа;

$j_{окр}$  - относительная влажность окружающего воздуха, %;

$P_S$  - парциальное давление насыщенного пара при данной температуре окружающего воздуха, кПа.

4.2.6 Перед началом испытаний газоанализаторы должны быть прогреты согласно инструкции по их применению.

4.2.7 Содержание ВВ в ОГ определяют при работе дизеля на установленных режимах в соответствии с таблицей 1.

4.2.8. Продолжительность отбора проб на каждом установившемся режиме должна быть не менее 4 мин.

4.2.9. Показания газоанализатора фиксируют в течение не менее трех последних минут отбора проб на каждом режиме.

4.2.10. Замеренные значения соответствующих параметров двигателя на каждом режиме, а также замеренные объемные концентрации оксидов азота  $W_{NOX}$ , оксида углерода  $W_{CO}$  и массовый выброс суммарных углеводородов  $W_{CH}$  заносят в табл.2.

4.2.11. Правила обработки результатов испытаний

4.2.11.1 Содержание водяных паров в воздухе (г/кг) на входе в устройство для измерения расхода воздуха рассчитывают по формуле:

$$d = \frac{6,21j_{окр} P_S}{B_{окр} - 0,01j_{окр} P_S} \quad (4)$$

Таблица 1 - Режимы работы дизеля при определении токсичности ОГ  
(ГОСТ 17.2.2.05-97)

<i>Частота вращения коленчатого вала <math>n</math>, мин<sup>-1</sup></i>	<i>Процент крутящего момента при полной подаче топлива на данном скоростном режиме, %</i>	<i>Коэффициент весомости, <math>K_v</math></i>
1. Минимально устойчивая	0	0,0833
2. Соответствующая максимальному крутящему моменту	10	0,0800
3. Соответствующая максимальному крутящему моменту	25	0,0800
4. Соответствующая максимальному крутящему моменту	50	0,0800
5. Соответствующая максимальному крутящему моменту	75	0,0800
6. Соответствующая максимальному крутящему моменту	100	0,2501
7. Минимальная устойчивая	0	0,0833
8. Номинальная	100	0,1000
9. Номинальная	75	0,0200
10. Номинальная	50	0,0200
11. Номинальная	25	0,0200
12. Номинальная	10	0,0200
13. Минимальная устойчивая	0	0,0833

Таблица 2 – Протокол испытаний двигателя \_\_\_\_\_

Барометрическое давление, кПа - \_\_\_\_\_

Относит. влажность воздуха на впуске, % - \_\_\_\_\_

Температура окружающей среды, °С - \_\_\_\_\_

Давление насыщенного пара, кПа - \_\_\_\_\_

Давление водяного пара, кПа - \_\_\_\_\_

Давление сухого воздуха, кПа - \_\_\_\_\_

Параметры	Режимы работы												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Частота вращения, мин <sup>-1</sup>													
Крутящий момент, Нм													
Мощность, кВт													
Удельный эффективный расход топлива, г/(кВт ч)													
Часовой расход топлива, кг/ч													
Расход воздуха, кг/ч													
Объемная концентрация углеводородов W <sub>CH</sub> , млн <sup>-1</sup>													
Объемная концентрация оксида углерода W <sub>CO</sub> , млн <sup>-1</sup>													
Объемная концентрация оксидов азота W <sub>NO</sub> , млн <sup>-1</sup>													
Массовый выброс CO, г/ч													
Массовый выброс CH, г/ч													
Массовый выброс NO <sub>x</sub> , г/ч													

Окончание табл.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Удельный выброс CO, г/(кВт ч)													
Удельный выброс CH <sub>4</sub> , г/(кВт ч)													
Удельный выброс NO <sub>x</sub> , г/(кВт ч)													

4.2.11.2 Поправочные коэффициенты на влажность для оксидов азота и оксида углерода (II) для каждого режима определяют из выражения:

$$F_{NO_x} = \left[ 1 + \left( \frac{0,044G_T}{G_B} - 0,0038 \right) (7d - 75) + \left( 0,053 - \frac{0,116G_T}{G_B} \right) 1,8(T_{OKP} - 302) \right]^{-1} \quad (5)$$

$$F_{CO} = 1 - 1,85 \frac{G_T}{G_B}, \quad (6)$$

где  $G_T$  – расход топлива, кг/ч;  $G_B$  – расход воздуха, поступающего в цилиндры, кг/ч.

4.2.11.3 Массовые выбросы оксидов азота, оксидов углерода (II) и суммарных углеводородов для каждого из 13 режимов при влажном состоянии отработавших газов рассчитывают по формулам

$$G_{NO_x} = 0,001587W_{NO_x} F_{NO_x} (G_T + G_B); \quad (7)$$

$$G_{CO} = 0,000966W_{CO} F_{CO} (G_T + G_B); \quad (8)$$

$$G_{CH} = 0,000478W_{CH} (G_T + G_B); \quad (9)$$

где  $W_{NO_x}$ ,  $W_{CO}$  и  $W_{CH}$  – соответственно объемные концентрации оксидов азота, оксидов углерода и суммарных углеводородов, млн<sup>-1</sup>.

4.2.11.4 Удельные выбросы оксидов азота, оксида углерода (II) и суммарных углеводородов рассчитывают по формулам

$$g_{NO_x} = \frac{\sum_1^{13} (G_{NO_x} K_B)}{\left( \sum_1^{13} N_e K_B \right)}; \quad (10)$$

$$g_{CO} = \frac{\sum_1^{13} (G_{CO} K_B)}{\sum_1^{13} (N_e K_B)}; \quad (11)$$

$$g_{CH} = \frac{\sum_1^{13} (G_{CH} K_B)}{\sum_1^{13} (N_e K_B)}; \quad (12)$$

где  $K_B$  – коэффициент весоности режима, на котором определяли выбросы (см. табл. 1);  $N_e$  – мощность дизеля на каждом из режимов, кВт.

4.2.11.5 Значения удельных выбросов должны быть не более норм, приведенных в табл. 3.



Таблица 3 – Удельные выбросы ВВ вновь изготовленных дизелей  
(ГОСТ 17.2.2.05-97)

<i>Наименование вредных веществ</i>	<i>Удельные выбросы при неограниченном воздухообмене, г/(кВт·ч)</i>
Оксиды азота	18,0
Оксид углерода (II)	10,0
Углеводороды	0,0

4.2.11.6. Значения удельных выбросов находящихся в эксплуатации тракторов и машин не должен быть более норм, приведенных в табл. 4.

Таблица 4 - Удельные выбросы ВВ находящихся в эксплуатации тракторов  
(ГОСТ 17.2.2.05-97)

<i>Наименование вредных веществ</i>	<i>Удельные выбросы при неограниченном воздухообмене, г/(кВт·ч)</i>
Оксиды азота	18,0
Оксид углерода (II)	14,0
Углеводороды	4,5

4.3. Результаты измерений занести в протокол испытаний и при необходимости построить график.

#### Контрольные вопросы

1. Какие бывают виды нормирования вредных веществ?
2. Каковы причины образования оксидов азота, оксида углерода и углеводородов в процессе горения топлива в ДВС?
3. Какие применяют методы химического анализа содержания оксидов азота, оксида углерода и суммарных углеводородов в отработавших газах двигателей?
4. В каких единицах измеряют концентрацию вредных веществ в отработавших газах?
5. В каких единицах измеряют удельные выбросы вредных веществ с отработавшими газами?
6. В чем основное отличие стандартов по оценке удельных выбросов вредных веществ с отработавшими газами между собой?
7. Каков характер влияния вредных веществ, образующихся в ходе процесса горения топлива в ДВС на окружающую среду?

## Лабораторная работа № 4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА ОПЕРЕЖЕНИЯ ВПРЫСКА ТОПЛИВА НА ВЫБРОСЫ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

#### 1 Цель работы

Освоение методики определения содержания газообразных вредных веществ в ОГ дизеля при исследовательских испытаниях.

#### 2 Задание

- 2.1 Изучить оборудование, применяемое для определения содержания газообразных вредных веществ в ОГ двигателей при работе последних на моторном стенде.
- 2.2 Изучить методики проведения исследовательских испытаний по определению выбросов ВВ с ОГ.
- 2.3 Провести испытания двигателя с целью определения содержания газообразных ВВ с ОГ.

#### 3 Теоретические положения

3.1 Механизм образования ВВ в цилиндрах двигателя, типы нормирования, требования к средствам измерения и подготовка двигателя к испытаниям см. лабораторную работу N 3.

3.2 На образование  $\text{NO}_x$  наиболее сильное влияние оказывает момент впрыска топлива в КС, т.е. установочный угол опережения впрыска топлива (УОВТ) (см. рис.).

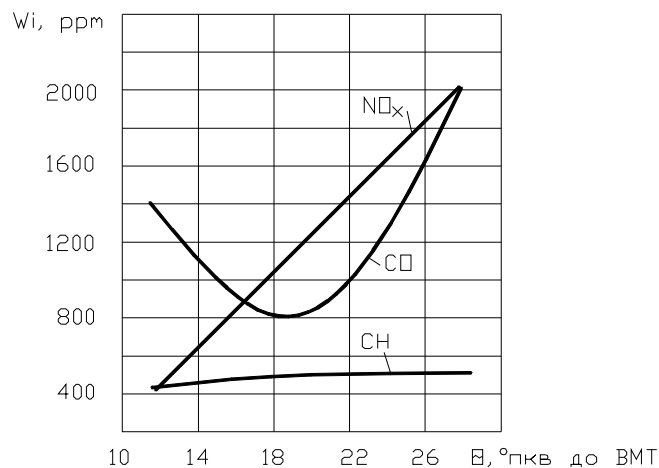


Рис. Зависимость концентрации выбросов вредных веществ с ОГ тракторного дизеля мощностью 45 кВт от значения установочного угла опережения впрыска топлива.

Обуславливается это температурой в КС в момент подачи топлива. Чем меньше угол  $\theta$ , тем выше температура воздушного заряда в камере сгорания и тем меньше период задержки воспламенения, а значит и меньшее количество топлива перемешается с воздухом за этот период. Указанное приведет к мень-

шему количеству топливовоздушной смеси, сгорающей по кинетическому механизму, который обуславливает максимальные значения концентраций  $\text{NO}_x$ . А поскольку большее количество топлива будет сгорать в диффузионном режиме, то это залог меньших выбросов  $\text{NO}_x$  с ОГ. Но эти же факторы могут привести к увеличению эмиссии продуктов неполного сгорания с отработавшими газами и дымности ОГ (хотя возможно и снижение эмиссии продуктов неполного сгорания – многое будет зависеть от абсолютного значения угла  $\Theta$ ).

Анализ конструкций серийной топливной аппаратуры и устройств управления топливоподачей показывает, что широко применяемая в отечественных транспортных дизелях топливная аппаратура с центробежными муфтами опережения впрыскивания позволяет реализовать управление УОВТ только по частоте вращения. Этого явно недостаточно для получения требуемых показателей транспортируемых дизелей по токсичности их ОГ. Поэтому целесообразно рассмотреть конструкции систем управления топливоподачей, способных обеспечивать управление УОВТ по частоте вращения и нагрузке и его корректирование при изменении условий эксплуатации (изменение атмосферных условий и физических свойств применяемого топлива).

Реализация такого управления возможна при помощи различных устройств, которые можно разделить на три группы: 1 – устройства, являющиеся приставкой в ТНВД (муфты опережения впрыскивания топлива); 2 – встроенные в ТНВД устройства, являющиеся его неотъемлемой частью; 3 – электронно-управляемые форсунки и насос-форсунки с управляемым началом и окончанием подачи топлива. Устройства первых двух групп могут быть использованы как в рядных, так и в распределительных ТНВД. В устройствах второй группы управление УОВТ осуществляется деталью или группой деталей, размещенных внутри ТНВД. В рядных насосах управление УОВТ достигается поворотом втулки или кромки плунжера, а также смещением толкателя, а в распределительных насосах это обеспечивается при помощи смещения дозирующей втулки, кулачковой шайбы, винтовой пары и др. В отличие от устройств второй группы муфты опережения автономны по отношению к ТНВД.

Управление УОВТ в зависимости от нескольких параметров можно осуществить с помощью механических многопараметрических муфт опережения впрыскивания. Однако при этом конструкция муфты существенно усложняется, что приводит к снижению надежности ее работы. Задача управления УОВТ в зависимости от нескольких параметров упрощается при использовании электронно-управляемых муфт опережения впрыскивания. К тому же, эти муфты позволяют обеспечивать более сложные законы управления УОВТ, а также изменять их при изменении условий эксплуатации.

3.3 Исследовательские испытания отличаются от стандартизованных выбором режимов испытаний и самим исследователем. Но в случае сравнительных испытаний по какому-либо фактору условия различных испытаний должны быть идентичны.

### 3.4 Порядок проведения испытаний

3.4.1 После запуска двигателя и его прогрева до рабочей температуры установить угол опережения впрыска топлива равным нулю градусов. Загружая двигатель установить заданную частоту вращения и провести необходимые замеры;

3.4.2 Увеличить УОВТ на 5 градусов и за счет изменения нагрузки восстановить первоначальную частоту вращения. Произвести необходимые замеры;

3.4.3 Повторить испытания по п. 3.4.2 с увеличением УОВТ на каждом режиме на 5 градусов. На режимах стабильного снижения мощности испытания завершить;

3.4.4 Результаты измерений занести в протокол испытаний (табл.), рассчитать  $M_{кр}$ ,  $N_e$ ,  $G_T$ ,  $g_e$  в зависимости от угла опережения впрыска топлива.

Таблица - Протокол испытаний по определению влияния УОВТ на выбросы вредных веществ двигателя \_\_\_\_\_.

<i>n</i> , <i>мин</i> <sup>-1</sup>	<i>УОВТ</i> , <i>град. ПКВ</i> <i>до ВМТ</i>	<i>Топливо</i>		<i>G<sub>T</sub></i> , <i>кг/ч</i>	<i>G<sub>e</sub></i> , <i>(г/кВт·ч)</i>	<i>M<sub>e</sub></i> , <i>Н·М</i>	<i>N<sub>e</sub></i> , <i>кВт</i>	<i>Концентрация</i> , <i>%</i>		
		<i>G<sub>0</sub></i> , <i>гр</i>	<i>t<sub>0</sub></i> , <i>с</i>					<i>NO<sub>x</sub></i>	<i>CO</i>	<i>CH</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>

#### Контрольные вопросы

1. Что такое УОВТ? Оптимальный УОВТ?
2. Каковы причины образования  $NO_x$ ,  $CO$  и  $CH$  в процессе горения топлива в ДВС?
3. Что такое исследовательские испытания? Какова методика их проведения?
4. Почему характер протекания кривых  $NO_x$ ,  $CO$ ,  $CH$ ,  $N_e$  и  $g_e$  имеет полученную закономерность?
5. В каких единицах измеряется концентрация ВВ в ОГ? В чем отличие этих единиц измерения?
6. В чем основное отличие стандартов, регламентирующих выбросы ВВ с ОГ, между собой?

## Лабораторная работа № 5

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОКСИДА УГЛЕРОДА И УГЛЕВОДОРОДОВ В ОГ БЕНЗИНОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

### 1 Цель работы

Освоение методик определения содержания СО и СН в ОГ бензиновых автомобильных двигателей согласно требованиям Российского (действующего в РФ) и международных стандартов.

### 2 Задание

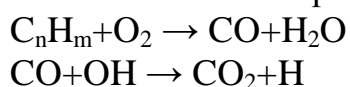
2.1 Изучить оборудование, применяемое для определения содержания СО и СН в ОГ ДВС.

2.2 Ознакомиться с методиками проведения испытаний согласно ГОСТ 17.2.2.03-87 “Нормы и методы измерений содержания оксида углерода и углеводородов в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями” и Правилами ЕЭК ООН N 83 “Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении выброса загрязняющих выхлопных газов в зависимости от топлива, необходимого для двигателей”.

### 3 Теоретические положения

3.1 В двигателях с внешним смесеобразованием образование оксида углерода определяется главным образом составом топливовоздушной смеси. Для богатых смесей ( $\alpha < 1$ ) концентрация СО в ОГ пропорциональна избытку топлива относительно окислителя, а для бедных смесей ( $\alpha > 1$ ) - практически постоянна.

Обычно считают, что для условий сгорания, характерных для кинетического механизма, при температуре и давлении близких к максимальным в цикле (2800 К и 6...7 МПа), система “углерод-кислород-водород” находится в равновесии. Поэтому концентрация СО в ОГ близка к равновесной. Однако данное положение сохраняется приблизительно до момента положения поршня на такте расширения 60 град. ПКВ за ВМТ. После чего возникает неравновесность концентрации СО в ОГ из-за снижения скорости реакций



вследствие снижения температуры продуктов сгорания, т.е. происходит замораживание (закалка) концентрации СО.

Окисление оксида углерода в диоксид развивается в основном после преращения около 80% исходных углеводородов (в зоне реакции).

Причина наличия углеводородов в ОГ ДВС – отсутствие или неполнота реагирования части углеводородного топлива во время рабочего процесса. Некоторый вклад в эмиссию дает смазочное масло, попадающее в КС со стенок цилиндров, где процессы горения не идут в связи с интенсивным теплоотводом в стенки.

Эмиссия углеводородов велика как для бедных, так и для богатых смесей. При обеднении смеси эмиссия углеводородов обусловлена неполным сгоранием, т.к. горение не завершается до момента охлаждения в связи с увеличением объема КС на такте расширения. При крайне сильном обеднении недогорание возможно и вследствие пропусков зажигания или низкой скорости распространения пламени. Основным источником несгоревших углеводородов являются слои смеси, находящиеся непосредственно у стенок цилиндров и в зазорах между поршнем и головкой или цилиндром. В обоих случаях горение не идет в связи с повышенной теплоотдачей в стенки деталей двигателя.

В богатых смесях процесс окисления идет не полностью из-за недостатка окислителя. В этом случае процесс окисления исходных и разложившихся на более простые углеводороды идет и в процессе выпуска продуктов сгорания в выхлопных трубах.

Источником выброса углеводородов с ОГ является и то, что в бензиновых двигателях в цилиндры подается смесь топлива с воздухом, и при перекрытии впускных и выпускных клапанов смесь может выбрасываться из цилиндра.

### 3.2 Требования к средствам измерения

3.2.1 Для определения содержания оксида углерода и суммарных углеводородов в ОГ автомобиля по ГОСТ 17.2.2.03-87 следует применять газоанализаторы непрерывного действия, работающие на принципе инфракрасной спектроскопии. Шкала газоанализатора оксида углерода должна быть отградуирована по бинарной газовой смеси (оксид углерода в воздухе или азоте). Шкала газоанализатора суммарных углеводородов должна быть отградуирована по бинарной газовой смеси (пропан в азоте).

3.2.2 Согласно требованиям Правил ЕЭК ООН N 83 при испытаниях должны применяться:

- для измерения содержания оксида углерода в ОГ ДВС – газоанализатор недисперсионного типа с поглощением в инфракрасных лучах;
- для измерения суммарных углеводородов – газоанализатор пламенно-ионизационного типа, калиброванных с помощью пропана.

## 4 Методика проведения испытаний

Перед измерением двигатель должен быть прогрет до рабочей температуры охлаждающей жидкости (или моторного масла для ДВС с воздушным охлаждением), указанной в руководстве по эксплуатации.

### 1.1 Последовательность измерений по ГОСТ 17.2.2.03-87

Измерения следует проводить в следующей последовательности:

- установить рычаг переключения передач в нейтральное положение;
- затормозить автомобиль стояночным тормозом;
- заглушить двигатель (при его работе);
- открыть капот двигателя;
- подключить тахометр;
- установить пробоотборный зонд газоанализатора в выпускную трубу автомобиля на глубину не менее 300 мм от среза (при косом срезе – глубина отсчитывается от короткой кромки среза);
- полностью открыть воздушную заслонку карбюратора;
- запустить двигатель;
- увеличить частоту вращения вала двигателя до повышенной частоты  $n_{пов}$ , равной  $0,8n_{ном}$ , и проработать на этом режиме не менее 15с;
- установить минимальную частоту вращения вала двигателя и, не ранее чем через 20с, измерить содержание оксида углерода и углеводородов;
- установить повышенную  $n_{пов}$  частоту вращения вала двигателя до величины равной  $0,8n_{ном}$  и, не ранее чем через 30с, измерить содержание оксида углерода и углеводородов.

Частоты вращения вала двигателя  $n_{min}$  и  $n_{max}$  устанавливаются в технических условиях и инструкции по эксплуатации автомобилей. Если эти значения не установлены – принимают  $n_{min}=(800\pm 50)\text{мин}^{-1}$ ,  $n_{пов}=(3000\pm 100)\text{мин}^{-1}$ .

## 4.2 Последовательность измерений согласно требований Правил ЕЭК ООН N 83

4.2.1 Правила предусматривают проведение четырех типов испытаний для бензиновых автомобилей с массой менее или равной 3500 кг:

- тип I – проверка среднего уровня выброса вредных веществ с ОГ после запуска холодного двигателя;
- тип III – измерение выбросов картерных газов;
- тип IV – измерение выбросов в результате испарения топлива;
- тип V – определение долговечности устройств, предотвращающих загрязнение окружающей среды.

4.2.2 Испытания типа 1 проводят на беговых барабанах с имитацией сопротивлений движению автомобиля.

4.2.3 Испытательный цикл 1 состоит из двух частей с общей продолжительностью 1180 с (приложение Г).

Первая часть – четыре простых городских цикла, каждый из которых состоит из 15 режимов работы (холостой ход, режим ускорения, режим постоянной скорости, режим торможения). Средняя скорость во время испытания по простому городскому циклу составляет 19 км/ч, а эквивалентное расстояние, пройденное за четыре цикла – 4,052 км.

Вторая часть представляет собой внегородской цикл, состоящий из 13 режимов работы. Средняя скорость во время испытания по внегородскому циклу составляет 62,6 км/ч, эквивалентное расстояние, пройденное за цикл – 6,955 км, а максимальная скорость автомобиля – 120 км/ч.

Испытания повторяют три раза и полученные результаты умножаются на соответствующие коэффициенты.

## 5 Предельно допустимое содержание вредных веществ

5.1 Содержание оксида углерода и углеводородов в ОГ автомобилей без каталитического нейтрализатора согласно требований ГОСТ 17.2.2.03 должно быть в пределах значений, установленных предприятием-изготовителем, но не выше приведенных в таблице 1.

Таблица 1 – Предельные значения выбросов ВВ (ГОСТ 17.2.2.03-87)

Частота вращения	Оксид углерода, объемная доля, %	Углеводороды, объемная доля, млн <sup>-1</sup> для двигателей с числом цилиндров	
		до 4 включ.	свыше 4
n <sub>min</sub>	3,5	1200	3000
n <sub>пов</sub>	2	600	1000

5.2. Правила ЕЭК ООН N 83 устанавливают, что суммарные массы газообразных веществ и дополнительно твердых частиц для дизелей, полученных в каждом испытании, должны быть меньше предельных значений, указанных в приложении Д.

5.3 Результаты измерений по ГОСТ 17.2.2.03 занести в протокол измерений (табл.2).

Таблица 2 - Протокол измерений

Модель автомобиля, государственный номер	Содержание ВВ в ОГ					
	До регулировки			После регулировки		
	Оксид углерода		углеводороды	Оксид углерода		углеводороды
	n <sub>min</sub>	n <sub>пов</sub>		n <sub>min</sub>	n <sub>пов</sub>	

### Контрольные вопросы

1. Каковы причины образования оксидов углерода, оксидов азота и углеводородов в процессе горения топлива в бензиновом ДВС?
2. Каков характер влияния ВВ на окружающую среду?
3. Какое влияние оказывают эксплуатационные факторы на выбросы ВВ с ОГ?
4. На чем основан принцип регулирования карбюратора, для снижения выбросов СО с ОГ?



**Приложение А**  
**Основные нормативные документы по испытаниям**  
**ДВС и АТС с целью оценки выбросов ВВ с ОГ**

№ п/п	Номер НТД	Область распространения
1	2	3
1	<b>Правила ЕЭК ООН №40</b>	Мотоциклы с бензиновым ДВС
2	<b>Правила ЕЭК ООН №47</b>	Мопеды с бензиновым ДВС
3	<b>Правила ЕЭК ООН №49</b>	Дизели, газодизели и газовые двигатели для транспортных средств полной массой более 3,5т и транспортные средства с этими ДВС
4	<b>Правила ЕЭК ООН №83</b>	Транспортные средства: - полной массой не более 3,5т (для перевозки грузов) - вмещающих не более 8 пассажиров
5	<b>Правила ЕЭК ООН №96</b>	Дизели мощностью от 18 до 560 кВт для сельскохозяйственных и лесных тракторов

1	2	3
6	<b>Директива №97/68 ЕС</b> , касающаяся изменения выбросов газообразных вредных веществ и частиц двигателями внутреннего сгорания, предназначенными для установки на внедорожный самоходный транспорт	Дизели мощностью от 18 до 560 кВт для внедорожного транспорта
7	<b>ИСО-8178</b> (часть 3-я для установившихся режимов и часть 9-я для переходных режимов)	- Двигатели внедорожных транспортных средств - Двигатели постоянной скорости - Двигатели коммунального применения мощностью не менее 20 кВт
8	<b>ГОСТ 17.2.2.03-87</b>	Автомобили с полной массой свыше 400 кг с бензиновыми ДВС
9	<b>ГОСТ 17.2.2.05-97</b>	Дизели для тракторов класса мощности свыше 0,2 т и комбайнов находящихся в эксплуатации
10	<b>ГОСТ 24585-81</b>	Дизели для судов, тепловозов и промышленного назначения

Примечание: 1. В России введены в действие ГОСТ Р41.24-2003, ГОСТ Р 41.49-2003, ГОСТ Р41.83-99, ГОСТ Р 41.96-99, ГОСТ Р41.101-99 и ГОСТ Р41.103-99, идентичные Правилам ЕЭК ООН №№ 24, 49, 83, 96, 101 и 103 соответственно.

2. Внедорожный самоходный транспорт по Директиве 97\68 ЕС – это транспорт, предназначенный к движению по поверхности земли по или без дорог: строительная техника, сельскохозяйственное оборудование, роторные культиваторы, лесное оборудование, снегоуборочное оборудование, мобильные краны и др. Указанная Директива не распространяется на объекты, подпадающие под действие других стандартов (например, Правил ЕЭК ООН №49 и 96).

3. Дизели промышленного назначения по ГОСТ 24585-81 – это ДВС, предназначенные для использования в стационарных или передвижных установках (электростанциях, насосно-перекачивающих или компрессорных станциях, холодильных секциях, сварочных агрегатах и т.д.), а также в транспортных средствах: экскаваторах, кранах, строительном-дорожных, землеройных и других аналогичных агрегатах.

**Приложение Б**  
**Основные нормативные документы по испытаниям ДВС**  
**с целью оценки дымности отработавших газов**

№ п\п	Номер НТД	Область распространения
1	2	3
1	<b>Правила ЕЭК ООН №24</b>	Дизели транспортных средств полной массой более 1т
2	<b>ИСО-8178</b> (часть 3-я для установившихся режимов и часть 9-я для переходных режимов)	- Двигатели внедорожных транспортных средств - Двигатели постоянной скорости - Двигатели коммунального применения мощностью не менее 20 кВт
3	<b>ГОСТ 17.2.2.01-84</b>	Дизели для автомобилей
4	<b>ГОСТ 17.2.2.02-98</b>	Дизели для тракторов класса мощности более 0,2т и комбайнов
5	<b>ГОСТ 21393-75</b>	Автомобили с дизелями, находящиеся в эксплуатации
6	<b>ГОСТ 24028-80</b>	Дизели для судов, тепловозов и промышленного назначения

Примечания: 1.Дизели промышленного назначения по ГОСТ 24028-80 – это ДВС, предназначенные для использования в стационарных или передвижных установках (электростанциях, насосно-перекачивающих или компрессорных станциях, холодильных секциях, сварочных агрегатах и т.д.), а также в транспортных средствах: экскаваторах, кранах, строительно-дорожных, землеройных и других аналогичных агрегатах.

**Приложение В**  
**Протокол испытаний**

**ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ**

---

Дата, место проведения и вид испытаний

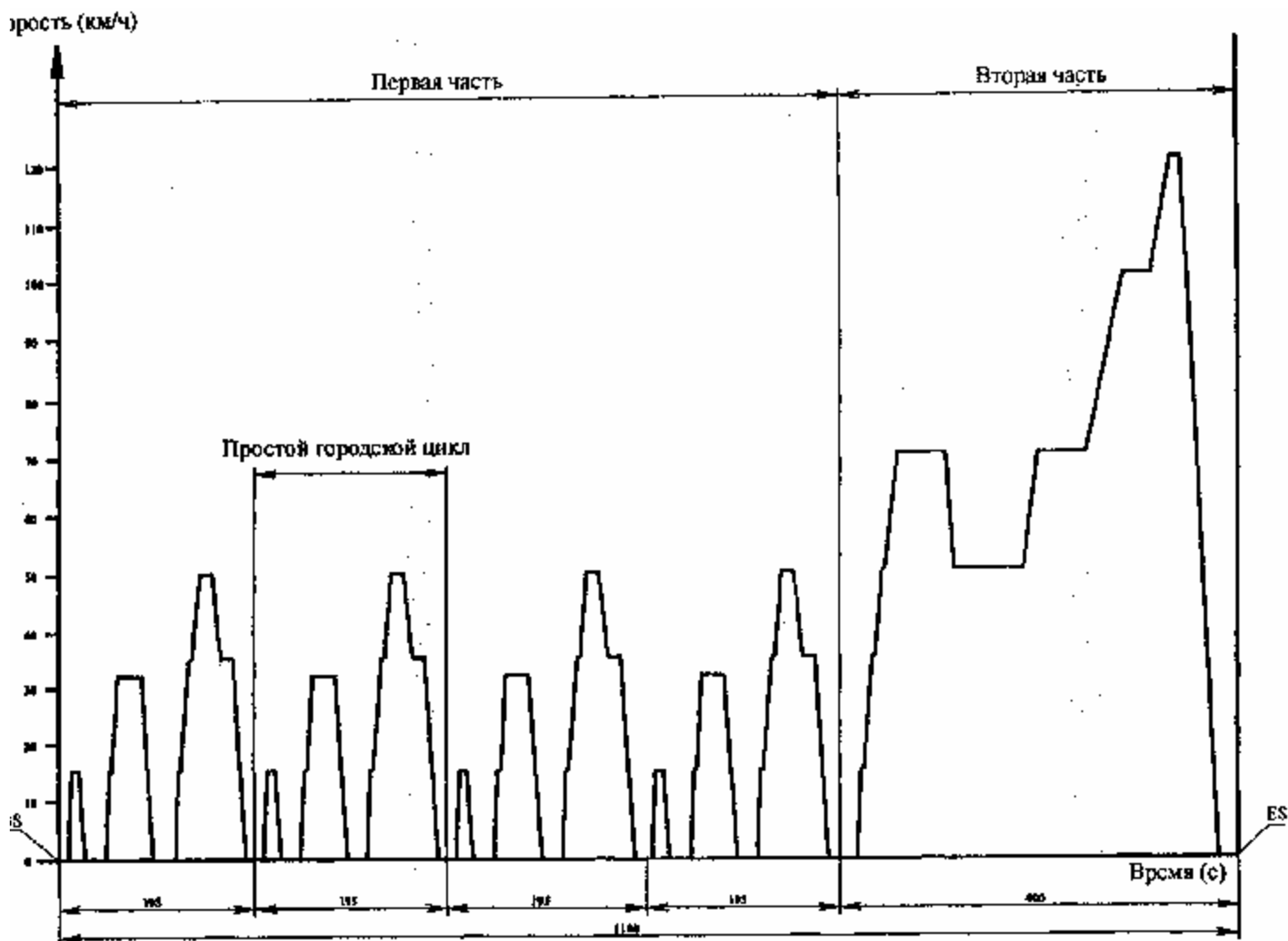
1. Марка дизеля \_\_\_\_\_
2. Завод изготовитель дизеля \_\_\_\_\_
3. Значения выбросов дизеля (г/(кВт.ч)), полученные во время испытаний, и установленные настоящим стандартом нормы выбросов:
  - оксиды азота - \_\_\_\_\_
  - оксид углерода - \_\_\_\_\_
  - углеводороды - \_\_\_\_\_.
4. Тип, марка и изготовитель газоанализатора \_\_\_\_\_

5. Решение о соответствии или несоответствии дизеля требованиям настоящего стандарта \_\_\_\_\_.

Испытания проводил \_\_\_\_\_

Подпись, дата, Ф.И.О.

Приложение Г  
Рабочий цикл для испытания типа 1 (Правила ЕЭК ООН №83)



**Приложение Д**  
**Предельные значения выбросов (Правила ЕЭК ООН № 83)**

Категория	Класс	Контроль- ная масса (RW), кг	Масса ок- сида угле- рода (CO).		Масса углево- дородов (HC)		Масса оки- слов азота (NO <sub>x</sub> )		Совокупная масса углево- дородов и оки- слов азота (HC+NO <sub>x</sub> )		Масса твер- дых частиц <sup>(1)</sup> (PM)	
			L <sub>1</sub> , г/км	L <sub>2</sub> , г/км	L <sub>2</sub> , г/км	L <sub>3</sub> , г/км	L <sub>3</sub> , г/км	L <sub>2</sub> + L <sub>3</sub> , г/км	L <sub>4</sub> , г/км			
			Бензин	Дизель	Бензин	Дизель	Бензин	Дизель	Бензин	Дизель	Дизель	
А(2000) ЕВРО-3	M <sup>(2)</sup>	—	Вес	2,3	0,64	0,20	—	0,15	0,50	—	0,56	0,05
	N <sub>1</sub> <sup>(3)</sup>	I	RW ≤ 1 305 кг	2,3	0,64	0,20	—	0,15	0,50	—	0,56	0,05
		II	1 305 < RW ≤ 1 760 кг	4,17	0,80	0,25	—	0,18	0,65	—	0,72	0,07
		III	1 760 < RW	5,22	0,95	0,29	—	0,21	0,78	—	0,86	0,10
В(2005)	M <sup>(2)</sup>	—	Все	1,0	0,50	0,10	—	0,08	0,25	—	0,30	0,025
ЕВРО-4	N <sub>1</sub> <sup>(3)</sup>	I	RW ≤ 1 305 кг	1,0	0,50	0,10	—	0,08	0,25	—	0,30	0,025
		II	1 305 < RW ≤ 1 760 кг	1,81	0,63	0,13	—	0,10	0,33	—	0,39	0,04
		III	1 760 < RW	2,27	0,74	0,16	—	0,11	0,39	—	0,46	0,06

(1) Для двигателей с воспламенением от сжатия.

(2) Кроме транспортных средств, максимальная масса которых превышает 2500 кг.

(3) А также транспортные средства категории М, которые указаны в примечании 2.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Транспорт и окружающая среда: Учебник/ М.М. Болбас, Е.Л.Савич, Г.М. Кухаренок и др. – Мн.: Технопринт, 2003.
- 2 ГОСТ 12.1.005-88 Система безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 3 ГОСТ 17.2.2.01-84 Дизели автомобильные. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерения.
- 4 ГОСТ 17.2.2.02-98 Нормы и методы измерения дымности отработавших газов дизелей тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин
- 5 ГОСТ 17.2.2.03-87 Нормы и методы измерения содержания окиси углерода и углеводородов в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями.
- 6 ГОСТ 17.2.2.05-97 Нормы и методы определения выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизелей, тракторов и самоходных машин.
- 7 ГОСТ Р17.2.2.07-2000 Охрана природы. Атмосфера. Поршневые двигатели внутреннего сгорания для малогабаритных тракторов и средств малой механизации. Нормы и методы измерения выбросов вредных веществ с отработавшими газами и дымности отработавших газов.
- 8 ГОСТ 21393-75 Автомобили с дизелями. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерения. Требования безопасности.
- 9 ГОСТ 24028-80 Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерения.
- 10 ГОСТ 24585-81 Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения.
- 11 Правила ЕЭК ООН №24 (ГОСТ Р41.24-2003) Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия и автотранспортных средств с двигателями с воспламенением от сжатия в отношении выброса видимых загрязняющих веществ.
- 12 Правила ЕЭК ООН №40 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения мотоциклов, оснащенных двигателем с принудительным зажиганием, в отношении выделяемых двигателем выхлопных газов.
- 13 Правила ЕЭК ООН №47 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения мопедов, оснащенных двигателем с принудительным зажиганием, в отношении выделяемых двигателем выхлопных газов.
- 14 Правила ЕЭК ООН №49 (ГОСТ Р41.49-2003) Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия и двигателей, работающих на природном газе, а также двигателей с принудительным зажиганием, работающих на сжиженном нефтяном газе (СНГ), и транспортных средств, оснащенных двигателями с воспламенением от сжатия, двигателями, работающими на природном газе, и двигателями с принудительным зажиганием, работающими на СНГ, в отношении выделяемых ими загрязняющих веществ.

15 Правила ЕЭК ООН №83 (ГОСТ Р41.83-99) Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении выбросов загрязняющих веществ в зависимости от топлива, необходимого для двигателей.

16 Правила ЕЭК ООН №96 (ГОСТ Р41.96-99) Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия для установки на сельскохозяйственных и лесных тракторах в отношении выбросов загрязняющих веществ этими двигателями.

17 Правила ЕЭК ООН №101 (ГОСТ Р41.101-99) Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей, оборудованных двигателем внутреннего сгорания, в отношении измерения объема выбросов диоксидов углерода и расхода топлива.

18 ИСО 8178-4-1996 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса отработавших газов. Циклы испытаний для различных режимов работы двигателей.

19 ИСО 8178-9-2000 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса отработавших газов. Циклы и методики испытаний для стендовых измерений дымности отработавших газов от двигателя внутреннего сгорания на неустановившихся режимах.

20 СТП 10 – 02.01 – 87. Отчет о лабораторной работе. Общие требования и правила оформления. БПИ, Мн.,1987.



## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	
ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	
Лабораторная работа №1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИ- МАХ.....	
Лабораторная работа №2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ НА НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ.....	
Лабораторная работа №3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫБРОСОВ ГАЗООБРАЗНЫХ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА МОТОРНОМ СТЕНДЕ.....	
Лабораторная работа №4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА ОПЕРЕЖЕНИЯ ВПРЫСКА ТОПЛИВА НА ВЫБРОСЫ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ.....	
Лабораторная работа №5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОКСИДА УГЛЕ- РОДА И УГЛЕВОДОРОДОВ В ОГ БЕНЗИНОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ.....	
Приложение А. Основные нормативные документы по испытаниям ДВС и АТС с целью оценки выбросов ВВ с ОГ.....	
Приложение Б. Основные нормативные документы по испытаниям ДВС с целью оценки дымности отработавших газов.....	
Приложение В. Протокол испытаний.....	
Приложение Г. Рабочий цикл для испытания типа 1 (Правила ЕЭК ООН №83).....	
Приложение Д. Предельные значения выбросов (Правила ЕЭК ООН №83)..	