

Изменение № 1 ГОСТ Р 51249—99 Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения

Утверждено и введено в действие Постановлением Госстандарта России от 09.03.2004 № 128-ст

Дата введения 2004—07—01

Наименование стандарта изложить в новой редакции:

«Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения

Internal combustion reciprocating engines. Emissions of harmful substances with the exhaust gases. Limit values and test methods».

По всему тексту стандарта (кроме разд. 2) заменить слово: «дизель» на «двигатель».

Раздел 1 изложить в новой редакции:

«1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на судовые, тепловозные и промышленные двигатели внутреннего сгорания (далее — двигатели) и устанавливает нормы и методы определения выбросов вредных веществ с отработавшими газами (далее — ОГ) при проведении стендовых испытаний новых и капитально отремонтированных двигателей.

Допускается применение настоящего стандарта в условиях эксплуатации при проведении испытаний силовых установок и агрегатов на базе судовых, тепловозных и промышленных двигателей.

Стандарт не распространяется на автомобильные, тракторные и авиационные двигатели».

Раздел 2. Заменить ссылку: «ГОСТ 12.4.051—87 ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов слуха. Общие технические требования и методы испытаний»

на «ГОСТ Р 12.4.213—99 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Противошумы. Упрощенный метод измерения акустической эффективности противошумных наушников для оценки качества»;

исключить ссылку:

«ГОСТ 305—82 Топливо дизельное. Технические условия»;

дополнить ссылками:

«ГОСТ 30574—98 Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Измерение выбросов вредных веществ с отработавшими газами. Циклы испытаний

(Продолжение см. с. 22)

ГОСТ Р ИСО 8178—7—99 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Часть 7. Определение семейства двигателей

ГОСТ Р ИСО 8178—8—99 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Часть 8. Определение группы двигателей».

Пункт 5.1.2. Таблицу 3 изложить в новой редакции:

Т а б л и ц а 3

Наименование измеряемого компонента ОГ	Обозначение компонента	Предел основной приведенной погрешности измерения, %
Концентрация оксида углерода	C_{CO}	$\pm 5,0$
Концентрация оксидов азота в приведении к NO_2	C_{NO_x}	$\pm 10,0$
Концентрация углеводородов в приведении к $CH_{1,85}$	C_{CH}	$\pm 5,0$

Пункт 5.2 изложить в новой редакции (таблицу 4 исключить):

«5.2 Испытательные циклы и состав режимов испытаний в зависимости от назначения двигателя должны соответствовать ГОСТ 30574.

Двигатель считается находящимся на данном режиме испытаний, если соответствующие ему значения частоты вращения и мощности установлены с точностью по ГОСТ 10448».

Пункт 5.3. Формула (2). Экспликация. Первый абзац после слов «эквивалента по приведению» дополнить обозначениями: «($\mu_{NO_2} = 46$, $\mu_{CO} = 28$, $\mu_{CH_{1,85}} = 13,85$)»;

таблица 5. Графа «Вид топлива». Исключить слова: «по ГОСТ 305» (3 раза);

абзац после таблицы 5 изложить в новой редакции:

«Влажное» состояние ОГ принимают для случаев, когда влагосодержание неразбавленной пробы газов, подаваемой в газоанализатор, соответствует полному составу продуктов сгорания. «Сухое» состояние ОГ при-

(Продолжение см. с. 23)

нимают для случаев, когда влагосодержание неразбавленной пробы газов, подаваемой в газоанализатор, меньше или равно равновесному при температуре ниже 298 К»;

последний абзац дополнить словами: «Методы углеродного и углеродо-кислородного балансов приведены в приложении В».

Раздел 6. Первый абзац изложить в новой редакции:

«Испытательный стенд должен быть оборудован системой пробоотбора и газоанализаторами для измерения состава ОГ, а также устройствами для измерения расходов воздуха, топлива и мощности двигателя. Рекомендуемая схема установки для измерения состава неразбавленных ОГ приведена на рисунке 1».

Пункт 6.1.1. Второй абзац. Заменить слова: «с помощью одного пробоотборного зонда» на «с помощью одного или нескольких пробоотборных зондов».

Пункт 6.2.2 дополнить словами: «и обеспечивать измерение концентрации углеводородов по эквиваленту $CH_{1,85}$ в диапазоне от 0,001 % до 0,2 %».

Пункт 6.2.3. Второй абзац исключить.

Пункт 7.1 дополнить абзацем (после первого):

«В условиях стабильного производства рекомендуется использовать концепции семейства и группы двигателей в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 8178—7 и ГОСТ Р ИСО 8178—8»;

третий абзац изложить в новой редакции:

«Мощность для расчета удельных средневзвешенных выбросов вредных веществ принимается в соответствии с заданной в технических условиях изготовителя на конкретный двигатель (номинальная или полная)».

Пункт 7.2. Четвертый абзац изложить в новой редакции:

«для двигателей без наддува, с наддувом от приводного нагнетателя или с комбинированным наддувом»;

последний абзац исключить.

Раздел 8. Последний абзац изложить в новой редакции:

«Результаты измерений и расчетов оформляют в виде отчета, содержание которого должно соответствовать [1]».

Пункт 9.5. Заменить ссылку: ГОСТ 12.4.051 на ГОСТ Р 12.4.123.

Стандарт дополнить приложением — В:

(Продолжение см. с. 24)

**«ПРИЛОЖЕНИЕ В
(рекомендуемое)
Расчет расхода отработавших газов методами углеродного
и углеродокислородного балансов**

В приложении приведены методы расчета расхода отработавших газов и (или) расхода воздуха двигателем. Методы основываются на измерениях состава отработавших газов и расхода топлива. Приложение включает два метода для расчета массового расхода отработавших газов. Первый метод (углеродный баланс) применяется при использовании жидких углеводородных топлив, содержащих кислород и азот в сумме не превышающих 1 % по массе. Второй метод универсальный (углеродокислородный баланс) применяется при использовании жидких и газообразных топлив с содержанием H, C, S, O, N в любых соотношениях.

В таблице В.1 приведены символы величин, используемые в формулах для расчетов, их наименования и единицы величин.

Т а б л и ц а В.1

Символ	Наименование параметра	Единица величины
ALF	Содержание водорода в топливе H	% (по массе)
AWC	Атомная масса C	а.е.м.
AWH	Атомная масса H	То же
AWN	Атомная масса N	»
AWO	Атомная масса O	»
AWS	Атомная масса S	»
BET	Содержание углерода в топливе C	% (по массе)
CO2D	Концентрация CO ₂ в «сухих» газах	% (по объему)
CO2W	То же, во «влажных» газах	То же
COD	Концентрация CO в «сухих» газах	млн ⁻¹
COW	То же, во «влажных» газах	То же
CW	Концентрация сажи во «влажных» газах	мг/м ³
DEL	Содержание азота в топливе N	% (по массе)
EAFCD0	Коэффициент избытка воздуха при полном сгорании топлива	кг/кг
EAFEXH	Коэффициент избытка воздуха при неполном сгорании топлива	То же
EPS	Содержание кислорода в топливе O	% (по массе)

(Продолжение см. с. 25)

Продолжение таблицы В.1

Символ	Наименование параметра	Единица величины
ETA	Содержание азота во «влажном» воздухе для сгорания N	% (по массе)
EXHCPN	Отношение объемов отработавших газов и углеродосодержащих компонентов	м ³ /м ³
EXHDENS	Плотность «влажных» отработавших газов	кг/м ³
FFCB	Коэффициент состава топлива для расчета углеродного баланса	м ³ /кг
FFD	Коэффициент состава топлива для расчета расхода «сухих» отработавших газов	То же
FFW	То же, для влажных отработавших газов	»
FFH	Коэффициент состава топлива для пересчета концентраций при переходе отработавших газов из «сухого» во «влажное» состояние	»
GAIRD	Массовый расход «сухого» воздуха для сгорания	кг/ч
GAIRW	То же, для «влажного» воздуха	То же
GAM	Содержание серы в топливе S	% (по массе)
GCO	Массовый выброс CO	г/ч
GC	Массовый выброс C (сажа)	То же
GCO2	Массовый выброс CO ₂	»
GHC	Массовый выброс CH	»
GH2O	Массовый выброс H ₂ O	»
GN2	Массовый выброс N ₂	»
GNO	Массовый выброс NO	»
GNO2	Массовый выброс NO ₂	»
GO2	Массовый выброс O ₂	»
GSO2	Массовый выброс SO ₂	»

(Продолжение см. с. 26)

Продолжение таблицы В.1

Символ	Наименование параметра	Единица величины
GEXHD	Массовый расход «сухих» отработавших газов	кг/ч
GEXHW	То же, «влажных» отработавших газов	То же
gexhw	То же, рассчитанный методом углеродного баланса	»
GFUEL	Массовый расход топлива	»
HTCRAT	Соотношение водорода и углерода в топливе	моль/моль
HCD	Концентрация углеводородов CH в «сухих» газах	млн ⁻¹
HCW	То же, во «влажных» газах	То же
MV	Молекулярный объем индивидуального газа, приведенный к нормальным атмосферным условиям*	дм ³ /моль
MW	Молекулярная масса индивидуального газа	г/моль
NO2W	Концентрация NO ₂ во «влажных» газах	млн ⁻¹
NOW	Концентрация NO во «влажных» газах	То же
NUE	Содержание воды в воздухе для сгорания	% (по массе)
O2D	Концентрация O ₂ в «сухих» газах	% (по объему)
O2W	То же, во «влажных» газах	То же
STOIAR	Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива	кг/кг
TAU	Содержание O ₂ в воздухе для сгорания	% (по массе)
TAU1	Содержание O ₂ в воздухе, оставшееся после сгорания	То же

(Продолжение см. с. 27)

Окончание таблицы В.1

Символ	Наименование параметра	Единица величины
TAU2	Содержание O_2 , вступившего в реакции сгорания из топлива	% (по массе)
VCO	Объемный выброс CO , приведенный к нормальным атмосферным условиям*	$m^3/ч$
VCO2	Объемный выброс CO_2 , приведенный к нормальным атмосферным условиям*	То же
VH2O	Объемный выброс H_2O , приведенный к нормальным атмосферным условиям*	»
VHC	Объемный выброс CH_4 , приведенный к нормальным атмосферным условиям*	»
VN2	Объемный выброс N_2 , приведенный к нормальным атмосферным условиям*	»
VNO	Объемный выброс NO , приведенный к нормальным атмосферным условиям*	»
VNO2	Объемный выброс NO_2 , приведенный к нормальным атмосферным условиям*	»
VO2	Объемный выброс O_2 , приведенный к нормальным атмосферным условиям*	»
VSO2	Объемный выброс SO_2 , приведенный к нормальным атмосферным условиям*	»
* Нормальные атмосферные условия $p_0 = 101,3$ кПа, $T_0 = 273$ К.		

(Продолжение см. с. 28)

1 МЕТОД УГЛЕРОДНОГО БАЛАНСА

Метод включает шесть этапов расчета расхода отработавших газов по измеренным концентрациям углеродосодержащих компонентов с учетом состава топлива.

1.1 Первый этап: расчет необходимого количества воздуха для сгорания стехиометрической смеси.

Процесс полного сгорания:



$$\text{STOIR} = (\text{BET}/12,011 + \text{ALF}/(4 \cdot 1,00794) + \text{GAM}/32,06) \cdot 31,9988/23,15. \quad (\text{B.4})$$

1.2. Второй этап: Расчет коэффициента избытка воздуха при условии полного сгорания топлива по концентрации CO_2 .

$$\text{EAFCD} = [\text{BET} \cdot 10 \cdot 22,262/(12,011 \cdot 1000)]/(\text{CO}_2\text{D}/100) + \text{STOIR} \cdot 0,2315/1,42895 - \text{BET} \cdot 10 \cdot 22,262/(12,011 \cdot 1000) - \text{GAM} \cdot 10 \cdot 21,891/(32,06 \cdot 1000)]/[\text{STOIR} \cdot (0,7685/1,2505 + 0,2315/1,42895)]. \quad (\text{B.5})$$

1.3 Третий этап: Расчет отношения водород/углерод

$$\text{HTCRAT} = \text{ALF} \cdot 12,011/(1,00794 \cdot \text{BET}). \quad (\text{B.6})$$

1.4 Четвертый этап: Расчет коэффициента состава топлива для пересчета состава отработавших газов при их переходе из «влажного» состояния в «сухое».

1.4.1 Пересчет концентрации компонентов с «сухой» основы на «влажную»:

$$\text{conc}_{\text{wet}} = \text{conc}_{\text{dry}} [1 - \text{FFH} \cdot (\text{расход топлива}/\text{расход «сухого» воздуха})]; \quad (\text{B.7})$$

$$\text{FFH} \cdot (\text{расход топлива}/\text{расход «сухого» воздуха}) =$$

(объем воды в процессе сгорания/полный объем «влажных» отработавших газов). (B.8)

Полный объем «влажных» отработавших газов = азот в воздухе для сгорания + избыточный кислород + аргон в воздухе для сгорания + вода в воздухе для сгорания + вода процесса сгорания + CO_2 процесса сгорания + SO_2 процесса сгорания. (B.9)

$$\text{FFH} \cdot \frac{\text{GFUEL}}{\text{GAIRD}} = \frac{10 \cdot \text{ALF} \cdot \text{MVH}_2\text{O}}{2 \cdot 1,0079 \cdot 1000} \cdot \left[\frac{0,7551}{1,2505} \cdot \frac{\text{GAIRD}}{\text{GFUEL} \cdot \text{STOIR}} \cdot \text{STOIR} + \right. \\ \left. + \frac{0,2315}{1,42895} \cdot \left(\frac{\text{GAIRD}}{\text{GFUEL} \cdot \text{STOIR}} - 1 \right) \cdot \text{STOIR} + \right]$$

(Продолжение см. с. 29)

$$\begin{aligned}
& + \frac{0,0129}{1,784} \cdot \frac{\text{GAIRD}}{\text{GFUEL} \cdot \text{STOIR}} \cdot \text{STOIR} + \\
& + \frac{0,0005}{1,9769} \cdot \frac{\text{GAIRD}}{\text{GFUEL} \cdot \text{STOIR}} \cdot \text{STOIR} + \\
& + \left(\text{ALF} \cdot 10 \cdot \frac{\text{MVCO}_2}{2 \cdot 1,0079 \cdot 1000} \right) + \left(\text{BET} \cdot 10 \cdot \frac{\text{MVCO}_2}{12,011 \cdot 1000} \right) + \\
& + \left(\text{GAM} \cdot 10 \cdot \frac{\text{MVSO}_2}{32,06 \cdot 1000} \right) \cdot \text{GFUEL}
\end{aligned} \tag{B.10}$$

где $\text{MVH}_2\text{O} = 22,401$ дм³/моль;
 $\text{MVCO} = 22,622$ дм³/моль;
 $\text{MVSO}_2 = 21,891$ дм³/моль.

1.4.2 Формула для расчета коэффициента состава топлива после преобразований:

$$\begin{aligned}
\text{FFH} \cdot \frac{\text{GFUEL}}{\text{GAIRD}} = & (0,111127 \cdot \text{ALF}) / [0,055583 \cdot \text{ALF} - 0,000109 \cdot \text{BET} - \\
& - 0,000157 \cdot \text{GAM} + 0,773329 \cdot (\text{GAIRD}/\text{GFUEL})]
\end{aligned} \tag{B.11}$$

и

$$\text{FFH} = (0,111127 \cdot \text{ALF}) / [0,773329 + (0,055583 \cdot \text{ALF} - 0,000109 \cdot \text{BET} - 0,000157 \cdot \text{GAM}) \cdot (\text{GFUEL}/\text{GAIRD})]. \tag{B.12}$$

1.5 Пятый этап: Расчет коэффициента избытка воздуха

1.5.1 Расчет коэффициента избытка воздуха при полном сгорании топлива

$\lambda_v = \text{расход воздуха} / (\text{расход топлива} \cdot \text{стехиометрическое количество воздуха});$ (B.13)

$$\text{EAFCD} = \text{GAIRD} / (\text{GFUEL} \cdot \text{STOIR}); \tag{B.14}$$

$$\text{GAIRD} = \text{EAFCD} \cdot \text{GFUEL} \cdot \text{STOIR}; \tag{B.15}$$

$$\begin{aligned}
\text{CWET} &= \text{CDRY} \cdot (1 - \text{FFH} \cdot \text{GFUEL}/\text{GAIRD}) = \\
&= \text{CDRY} \cdot [1 - \text{FFH} \cdot \text{GFUEL}/(\text{EAFCD} \cdot \text{GFUEL} \cdot \text{STOIR})] = \\
&= \text{CDRY} \cdot [1 - \text{FFH}/(\text{EAFCD} \cdot \text{STOIR})];
\end{aligned} \tag{B.16}$$

$$\begin{aligned}
\text{CDRY} &= \text{CWET} \cdot [1 - \text{FFH}/(\text{EAFCD} \cdot \text{STOIR})] = \\
&= \text{CWET} \cdot \text{EAFCD} \cdot \text{STOIR} / (\text{EAFCD} \cdot \text{STOIR} - \text{FFH});
\end{aligned} \tag{B.17}$$

$$\text{HCD} = \text{HCW} \cdot \text{EAFCD} \cdot \text{STOIR} / (\text{EAFCD} \cdot \text{STOIR} - \text{FFH}). \tag{B.18}$$

(Продолжение см. с. 30)

1.5.2 Расчет коэффициента избытка воздуха при неполном сгорании топлива $EXHCPN = (CO2D/100) + (COD/10^6) + (HCD/10^6)$; (B.19)

$$EAFEXH = \frac{\left(\frac{1}{EXHCPN} - \frac{COD}{10^6 \cdot 2 \cdot EXHCPN} - \frac{HCD}{10^6 \cdot EXHCPN} + \frac{HTCRAT}{4} \right) \times \left(\frac{1-HCD}{10^6 \cdot EXHCPN} - \frac{0,75 \cdot HTCRAT}{3,5} - \frac{COD}{10^6 \cdot EXHCPN} + \frac{1-3,5}{10^6 \cdot EXHCPN} - \frac{1-HCD}{10^6 \cdot EXHCPN} \right)}{4,77 \cdot \left(1 + \frac{HTCRAT}{4} \right)} \quad (B.20)$$

1.6 Шестой этап: Расчет массового расхода отработавших газов

Расход отработавших газов = расход топлива + расход воздуха на сгорание. (B.21)

Расход воздуха на сгорание = $lv \cdot$ расход топлива \cdot стехиометрическое количество воздуха. (B.22)

Расход отработавших газов = расход топлива $\cdot (1 + lv \cdot$ стехиометрическое количество воздуха.

$$GEXHW = GFUEL \cdot (1 + EAFEXH \cdot STOIAR). \quad (B.24)$$

2 Метод универсальный углеродокислородного баланса

2.1 Расчет массового расхода отработавших газов на основе углеродного баланса:

$$GEXHW = \frac{GFUEL \cdot BET \cdot EXHDENS \cdot 10^4}{AWC} \times \frac{1}{\left(\frac{CO2 \cdot 10^4}{MVCO2} + \frac{COW}{MVCO} + \frac{HCW}{MVHC} + \frac{CW}{AWC} \right)}. \quad (B.25)$$

2.1.1 Условие полного сгорания:

$$GEXHW = \frac{GFUEL \cdot BET \cdot EXHDENS \cdot MVCO2}{AWC \cdot (CO2W - CO2AIR)}. \quad (B.26)$$

(Продолжение см. с. 31)

2.2 Расчет массового расхода отработавших газов на основе кислородного баланса:

$$G_{EXHW} = G_{FUEL} \cdot \left(\frac{\frac{\text{Factor } 1}{1000 \cdot EXHDENS} + 10 \cdot \text{Factor } 2 - 10 \cdot EPS}{10 \cdot \tau - \frac{\text{Factor } 1}{1000 \cdot EXDENS}} + 1 \right), \quad (\text{B.27})$$

где

$$\begin{aligned} \text{Factor } 1 = 10^4 \cdot \frac{M_{WO2} \cdot O2W}{M_{VO2}} - \frac{A_{WO}}{M_{VCO}} \cdot COW + \frac{A_{WO}}{M_{VNO}} \cdot NOW + \\ + \frac{2 \cdot A_{WO}}{M_{VNO2}} \cdot NO2W - \frac{3 \cdot A_{WO}}{M_{VHC}} \cdot HCW - \frac{2 \cdot A_{WO}}{A_{WC}} \cdot CW \end{aligned} \quad (\text{B.28})$$

и

$$\text{Factor } 2 = ALF \cdot \frac{A_{WO}}{2 \cdot A_{WH}} + BET \cdot \frac{2 \cdot A_{WO}}{A_{WC}} + GAM \cdot \frac{A_{WO}}{A_{WS}}, \quad (\text{B.29})$$

2.2.1 Условие полного сгорания:

$$\text{Factor } 1_{\text{compl}} = 10^4 \cdot \frac{M_{WO2}}{M_{VO2}} \cdot O2W, \quad (\text{B.30})$$

2.3 Вывод кислородного баланса с учетом неполного сгорания

2.3.1 Кислород на входе (г/ч):

$$G_{AIRW} \cdot \tau \cdot 10 + G_{FUEL} \cdot EPS \cdot 10, \quad (\text{B.31})$$

2.3.2 Кислород на выходе (г/ч):

$$\begin{aligned} G_{O2} + G_{CO2} \cdot \frac{2 \cdot A_{WO}}{M_{WCO2}} + G_{CO} \cdot \frac{A_{WO}}{M_{WCO}} + G_{NO} \cdot \frac{A_{WO}}{M_{WNO}} + \\ + G_{NO2} \cdot \frac{2 \cdot A_{WO}}{M_{WNO2}} + G_{SO2} \cdot \frac{2 \cdot A_{WO}}{M_{WSO2}} + G_{H2O} \cdot \frac{A_{WO}}{M_{WH2O}}, \end{aligned} \quad (\text{B.32})$$

Формула (B.32) базируется на следующих расчетах.

Для расчета выбросов отдельных компонентов (г/ч) принимают «влажное» состояние отработавших газов:

$$G_{O2} = \frac{M_{WO2} \cdot 10}{M_{VO2} \cdot EXHDENS} \cdot O2W \cdot G_{EXHW}; \quad (\text{B.33})$$

$$G_{CO} = \frac{M_{WCO}}{M_{VCO} \cdot EXHDENS \cdot 1000} \cdot COW \cdot G_{EXHW}; \quad (\text{B.34})$$

$$G_{NO} = \frac{M_{WNO}}{M_{VNO} \cdot EXHDENS \cdot 1000} \cdot NOW \cdot G_{EXHW}; \quad (\text{B.35})$$

(Продолжение см. с. 32)

(Продолжение изменения № 1 к ГОСТ Р 51249—99)

$$G_{NO2} = \frac{MW_{NO2}}{MV_{NO2} \cdot EXHDENS \cdot 1000} \cdot NO2W \cdot GEXHW; \quad (B.36)$$

$$G_{CO2} = \frac{MW_{CO2}}{AWC} \cdot GFUEL \cdot BET \cdot 10 - GCO \cdot \frac{MW_{CO2}}{MWCO} - \\ - GHC \cdot \frac{MW_{CO2}}{MWHC} - GC \cdot \frac{MW_{CO2}}{AWC}; \quad (B.37)$$

$$GH2O = \frac{MWH2O}{2 \cdot AWH} \cdot GFUEL \cdot ALF \cdot 10 - GHC \cdot \frac{MWH2O}{MWHC}; \quad (B.38)$$

$$G_{SO2} = \frac{MWSO2}{AWS} \cdot GFUEL \cdot GAM \cdot 10; \quad (B.39)$$

$$GHC = \frac{MWHC}{MVHC \cdot EXHDENS \cdot 1000} \cdot HCW \cdot GEXHW; \quad (B.40)$$

$$GC = \frac{1}{EXHDENS \cdot 1000} \cdot CW \cdot GEXHW. \quad (B.41)$$

2.3.3 Кислород на входе (г/ч) (B.31):

$$GAIRW \cdot TAU \cdot 10 + GFUEL \cdot EPS \cdot 10 = \frac{GEXHW}{10^3 \cdot EXHDENS} \times \\ \times \left(\frac{MWO2 \cdot O2W \cdot 10^4}{MVO2} - \frac{AWO \cdot COW}{MVCOW} + \frac{AWO \cdot NOW}{MVNO} + \right. \\ \left. + \frac{2AWO \cdot NO2W}{MVNO2} - \frac{3AWO \cdot HCW}{MNHC} - \frac{2AWO \cdot CW}{AWC} \right) + 10 \cdot GFUEL \times \\ \times \left(\frac{ALF \cdot AWO}{2 \cdot AWH} + \frac{BET \cdot 2 \cdot AWO}{AWC} + \frac{GAM \cdot AWO}{AWS} \right), \quad (B.42)$$

EXHDENS рассчитывают по формуле (B.66).

2.3.4 Выражение (B.42) в первых скобках — Factor 1, во вторых — Factor 2 [см. также формулы (B.28) и (B.29)],

где $GEXHW = GAIR + GFUEL$. (B.43)

2.3.5 Массовый расход потребляемого воздуха и отработавших газов рассчитывают по следующим формулам:

(Продолжение см. с. 33)

$$GAIRW = GFUEL \cdot \left(\frac{\frac{\text{Factor } 1}{1000 \cdot EXHDENS} + 10 \cdot \text{Factor } 2 - 10 \cdot EPS}{TAU \cdot 10 - \frac{\text{Factor } 1}{1000 \cdot EXHDENS}} \right), \quad (B.44)$$

и, следовательно:

$$GEXHW = GFUEL \cdot \left(\frac{\frac{\text{Factor } 1}{1000 \cdot EXHDENS} + 10 \cdot \text{Factor } 2 - 10 \cdot EPS}{TAU \cdot 10 - \frac{\text{Factor } 1}{1000 \cdot EXHDENS}} + 1 \right). \quad (B.45)$$

2.4 Вывод углеродного баланса с учетом неполного сгорания

2.4.1 Углерод на входе (г/ч):

$$GFUEL \cdot BET \cdot 10. \quad (B.46)$$

2.4.2 Углерод на выходе (г/ч):

$$GCO_2 \cdot \frac{AWC}{MWCO_2} + GCO \cdot \frac{AWC}{MWCO} + GHC \cdot \frac{AWC}{MWHC} + GC \cdot \frac{AWC}{AWC}. \quad (B.47)$$

2.4.3 Формула (B.47) базируется на следующих расчетах.

Для расчета выбросов отдельных компонентов принимается «влажное» состояние отработавших газов:

$$GCO_2 = \frac{MWCO_2 \cdot 10}{MVCO_2 \cdot EXHDENS} \cdot CO_2W \cdot GEXHW. \quad (B.48)$$

$$GCO = \frac{MWCO}{MVCO \cdot EXHDENS \cdot 1000} \cdot COW \cdot GEXHW; \quad (B.49)$$

$$GHC = \frac{MWHC}{MVHC \cdot EXHDENS \cdot 1000} \cdot HCW \cdot GEXHW; \quad (B.50)$$

$$GC = \frac{1}{EXHDENS} \cdot CW \cdot GEXHW. \quad (B.51)$$

2.4.4 Условие баланса:

углерод на входе = углероду на выходе.

$$GFUEL \cdot BET \cdot 10 = \frac{GEXHW \cdot AWC}{EXHDENS \cdot 1000} \cdot \left(\frac{CO_2W}{MVCO_2} \times \right. \\ \left. \times 10^4 + \frac{COW}{MVCO} + \frac{HCW}{MVHC} + \frac{CW}{AWC} \right). \quad (B.52)$$

2.4.5 Расчет массового расхода отработавших газов на основе углеродного баланса:

(Продолжение см. с. 34)

$$GEXHW = \frac{GFUEL \cdot BET \cdot EXHDENS \cdot 10^4}{AWC} \times$$

$$\times \frac{1}{\left(\frac{CO2W \cdot 10^4}{MVCO2} + \frac{COW}{MVCO} + \frac{HCW}{MVHC} + \frac{CW}{AWC} \right)} \quad (B.53)$$

2.5 Расчет объемных расходов компонентов отработавших газов и их плотности с учетом неполноты сгорания:

$$VCO = COW \cdot 10^{-6} \cdot VEXHW; \quad (B.54)$$

$$VNO = NOW \cdot 10^{-6} \cdot VEXHW; \quad (B.55)$$

$$VNO2 = NO2W \cdot 10^{-6} \cdot VEXHW; \quad (B.56)$$

$$VHC = HCW \cdot 10^{-6} \cdot VEXHW; \quad (B.57)$$

$$VH2O = \frac{\left(\frac{GAIRW \cdot NUE \cdot MVH2O}{MWH2O} + \frac{GFUEL \cdot ALF \cdot MVH2O}{2 \cdot AWH} \right)}{100} - VHC; \quad (B.58)$$

$$VCO2 = \left(\frac{GAIRW \cdot CO2AIR}{1,293} + GFUEL \cdot BET \cdot \frac{MVCO2}{AWC} \right) \times$$

$$\times \frac{1}{100} - VCO - VHC, \quad (B.59)$$

где $CO2AIR$ — концентрация CO_2 в воздухе для сгорания, % (по объему);

$$TAU2 = \frac{GFUEL}{GAIRW} \cdot \left(ALF \cdot \frac{AWO}{2 \cdot AWH} + BET \times \right.$$

$$\times \left. \frac{2 \cdot AWO}{AWC} + GAM \cdot \frac{2 \cdot AWO}{AWS} - 1 \right); \quad (B.60)$$

$$VO2 = \frac{GAIRW \cdot (T - TAU2)}{100} \cdot \frac{MVO2}{MWO2} + (1 / 2) \cdot (VHC + VCO) -$$

$$- (1 / 2) \cdot (VNO - VNO2) - \frac{CW \cdot GEXHW}{EXHDENS} \cdot \frac{2 \cdot AWO \cdot MVO2}{AWC \cdot MWO2}; \quad (B.61)$$

$$VN2 = \frac{GAIRW \cdot ETA \cdot \frac{MVN2}{MWN2} + GFUEL \cdot DEL \cdot \frac{MVN2}{MWN2}}{100} -$$

$$- (1 / 2) \cdot VNO - (1 / 2) \cdot VNO2; \quad (B.62)$$

(Продолжение см. с. 35)

$$V_{SO_2} = \frac{G_{FUEL} \cdot G_{AM} \cdot \frac{M_{VSO_2} \cdot 2}{\Lambda_{WS}}}{100}; \quad (B.63)$$

$$V_{EXHW} = V_{H_2O} + V_{CO_2} + V_{O_2} + V_{N_2} + V_{SO_2} + V_{CO} + \\ + V_{NO} + V_{NO_2} + V_{HC}; \quad (B.64)$$

$$V_{EXHD} = V_{EXHW} - V_{H_2O}; \quad (B.65)$$

$$EXHDENS = G_{EXHW} / V_{EXHW}; \quad (B.66)$$

$$K_{EXH} = V_{EXHD} / V_{EXHW}. \quad (B.67)$$

2.6 Расчет коэффициентов состава топлива FFD и FFW при определении расхода отработавших газов

$$FFD = \frac{(V_{EXHD} - V_{AIRD})}{G_{FUEL}}; \quad (B.68)$$

$$FFW = \frac{(V_{EXHW} - V_{AIRW})}{G_{FUEL}}. \quad (B.69)$$

2.6.1 Формулы для расчета расхода отработавших газов во «влажном» и «сухом» состоянии:

$$V_{EXHW} = V_{H_2O} + V_{CO_2} + V_{O_2} + V_{N_2} + V_{SO_2}; \quad (B.70)$$

$$V_{EXHD} = V_{CO_2} + V_{O_2} + V_{N_2} + V_{SO_2}. \quad (B.71)$$

2.6.2 Расчет коэффициента состава топлива для отработавших газов во «влажном» состоянии

$$FFW = (ALF / 100) \cdot \left(\frac{M_{VH_2O}}{2 \cdot \Lambda_{WH}} - \frac{M_{VO_2}}{4 \cdot \Lambda_{WH}} \right) + (BET / 100) \cdot \left(\frac{M_{VCO_2}}{\Lambda_{WC}} - \frac{M_{VO_2}}{\Lambda_{WC}} \right) + \\ + (GAM / 100) \cdot \left(\frac{M_{VSO_2}}{\Lambda_{WS}} - \frac{M_{VO_2}}{\Lambda_{WS}} \right) + (DEL / 100) \times \\ \times \left(\frac{M_{VN_2}}{M_{WN_2}} \right) + (EPS / 100) \cdot \left(\frac{M_{VO_2}}{M_{WO_2}} \right). \quad (B.72)$$

После преобразований получаем численный вид формулы (B.72) для «влажных» отработавших газов:

$$FFW = 0,05557 \cdot ALF - 0,00011 \cdot BET - 0,00017 \cdot GAM + \\ + 0,0080055 \cdot DEL + 0,006998 \cdot EPS. \quad (B.73)$$

(Продолжение см. с. 36)

2.6.3 Расчет коэффициента состава топлива для отработавших газов в «сухом» состоянии

$$\begin{aligned} \text{FFD} = & (\text{ALF} / 100) \cdot \left(-\frac{\text{MVO}_2}{4 \cdot \text{AWH}} \right) + (\text{BET} / 100) \cdot \left(\frac{\text{MVCO}_2}{\text{AWC}} - \frac{\text{MVO}_2}{\text{AWC}} \right) + \\ & + (\text{GAM} / 100) \cdot \left(\frac{\text{MVSO}_2}{\text{AWS}} - \frac{\text{MVO}_2}{\text{AWS}} \right) + (\text{DEL} / 100) \times \\ & \times \left(\frac{\text{MVN}_2}{\text{MWN}_2} \right) + (\text{EPS} / 100) \cdot \left(\frac{\text{MVO}_2}{\text{MWO}_2} \right). \end{aligned} \quad (\text{B.74})$$

После преобразований получаем численный вид формулы (B.74) для «сухих» отработавших газов:

$$\begin{aligned} \text{FFD} = & -0,05564 \cdot \text{ALF} - 0,00011 \cdot \text{BET} - 0,00017 \cdot \text{GAM} + \\ & + 0,0080055 \cdot \text{DEL} - 0,006998 \cdot \text{EPS} \end{aligned} \quad (\text{B.75}).$$

Стандарт дополнить приложением — Г:

**«ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(справочное)
Библиография**

- [1] ИСО 8178—6:1995 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выбросов вредных веществ. Часть 6. Отчет по результатам измерений и испытаний*».

(ИУС № 6 2004 г.)