УДК 629:622.271

А.А.Кулешов, О.Д. Серебренников, Л.А. Новиков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИЗЕЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ В КАРЬЕРАХ

Изложены методологические подходы к определению объемов вредных веществ с отработавшими газами дизельных машин на карьерах. Рассмотрены статистический метод и метод прямых измерений на стендах или в карьере. В основу положена зависимость объемов вредных выбросов от количества сжигаемого топлива при различных нагрузочных режимах дизеля. Приведены сравнительные результаты расчетов вредных выбросов различными методами.

Methodological approaches to the problem of determining the volumes of harmful substances with exhausted gases of diesel machines at the quarries are stated. Statistical methods and method of direct measurement at the stands or at the quarry are considered. The dependence of the volumes of harmful effluents on the quantity of burnt fuel under various load regimes of diesel is taken as a basis. Comparative results of calculations of harmful effluents made by various methods are given.

Задача правильного определения объемов выбросов в отработавших газах (ОГ) дизельных машин при эксплуатации на открытых работах и в подземных рудниках до сих пор является весьма актуальной и в то же время достаточно сложной. Нет единого метрологического и методологического подхода к ее решению. В известных методах упрощаются исходные данные для расчета вредных выбросов, не учитываются в полной мере реальные технологические циклы работы оборудования, нагрузочные режимы машин, степень износа дизелей и др. В результате расчетные объемы вредных выбросов оказываются значительно заниженными, иногда в несколько раз.

В то же время без разработки надежной методологической основы невозможно точно прогнозировать объемы вредных выбросов в изменяющихся горно-технических условиях, а следовательно, рассчитывать параметры вентиляционной системы, разрабатывать надежные средства сокращения вредных выбросов, в том числе нейтрализации вредных выбросов.

Проводимые в СПГГИ и ЦНИДИ исследования позволили в определенной мере восполнить этот пробел.

Для расчета массы выбросов вредных компонентов отработавших газов дизельных двигателей в атмосферу за основу приняты статистические данные по удельным выбросам загрязняющих веществ, образующихся при сжигании в дизеле.

Скорость выделения вредного вещества, или эмиссия вредных выбросов E есть масса компонента, выделенная в атмосферу с ОГ в течение 1 ч эксплуатации дизельной установки на отдельно рассматриваемом режиме. Общая масса каждого отдельно взятого вредного выброса, образующегося при сжигании топлива дизельными карьерными машинами, может быть определена за рейс, например для силовых установок автосамосвала или тепловоза, за всю рабочую смену (грейдеры и т.п.) или за рабочий цикл (бульдозеры и т.п.)

Определение эмиссии вредных выбросов может производиться как на основании данных статистической обработки результатов стендовых и эксплуатационных испытаний при измерениях выбросов и расходов топлива на соответствующих режимах работы дизеля, так и по результатам прямых измерений на каждом режиме при работе в карьере или на стенде по эксплуатационному циклу.

Эксплуатационный цикл работы дизельной установки - совокупность нагрузочных и скоростных режимов определенной продолжительности, соответствующих реальным условиям эксплуатации.

Принятые в практике международных стандартов испытательные циклы объединяют по нескольким основным режимам работы силовых установок. Так, например, стандартом ISO-8178 (часть 4) для внедорожных грузовиков принят пятиступенчатый испытательный цикл с режимами нагружения, равными 100, 75 , 50, 25 % от номинальной мощности P_e, и холостой ход.

По результатам исследований режимов условий работы семейства карьерных автосамосвалов и тепловозов, выполненных ЦНИДИ и СПГГИ, можно принять с достаточной для расчетов выбросов точностью четырехступенчатые эксплуатационные циклы, представленные в табл.1.

Для автосамосвалов и тепловозов на карьере приведенные эксплуатационные циклы включают следующие режимы работы дизеля: холостой ход для автосамосвала и тепловоза - погрузка, ожидание погрузки, движение на спуске; 50 - процентное использование мощности дизеля - движение

Таблица 1

Эксплуатационные циклы для определения цикловой эмиссии вредных компонентов тепловозных и автомобильных дизелей

Назначение дизеля	Номер режима	Относительная частота вращения	Относительная мощность P/P_e	Весовой фактор режима F_w
Автомобильные (30-180 т)	1	Холостой ход	0,05	0,35
	2	Промежуточная	0,50	0,25
	3		0,75	0,20
	4	1,0	1,0	0,20
Тепловозные	1	Холостой ход	0,05	0,60
	2	Промежуточная	0,50	0,10
	3		0,75	0,10
	4	1,0	1,0	0,20

Примечание. Промежуточная частота вращения выбирается для соответствующего значения мощности.

порожнего автосамосвала или локомотивосостава по горизонтальным участкам трассы, маневрирование автосамосвала; 75-процентное использование мощности дизеля - движение с грузом автомобиля или локомотивосостава по горизонтальным участкам трассы, подъем кузова автосамосвала (разгрузка); полное использование мощности дизеля - движение груженого автомобиля или локомотивосостава на подъем.

Расчет максимальной эмиссии вредных выбросов на основе данных статистической обработки выполняют по формуле

$$(E')_{max} = B_{max}\, e_i\, \frac{P_{cp}}{P_{max}},$$

где B_{max} - расход топлива дизелем , кг/ч; e_i - среднецикловое значение выброса, г/кг; $P_{ср}$ - средняя эксплуатационная мощность, кВт.

Среднецикловые выбросы вредных компонентов дизелей имеют следующие значения, г/кг: оксиды азота NO_x (по NO_2) - 75; диоксид азота NO_2 - 60; оксид азота NO - 10; оксид углерода *CO* - 20; сернистый ангидрид SO_2 - 10 ; углеводороды по C_3H_8 - 12; альдегиды (по акролеину) - 1,2; сажа С - 3.

Определение среднеэксплуатационной эмиссии вредных выбросов осуществляется по среднеэксплуатационному расходу топлива с учетом данных среднеэксплуатационного цикла по формуле

$$\overline{E}_i = \overline{e_i}\ \overline{B}.$$

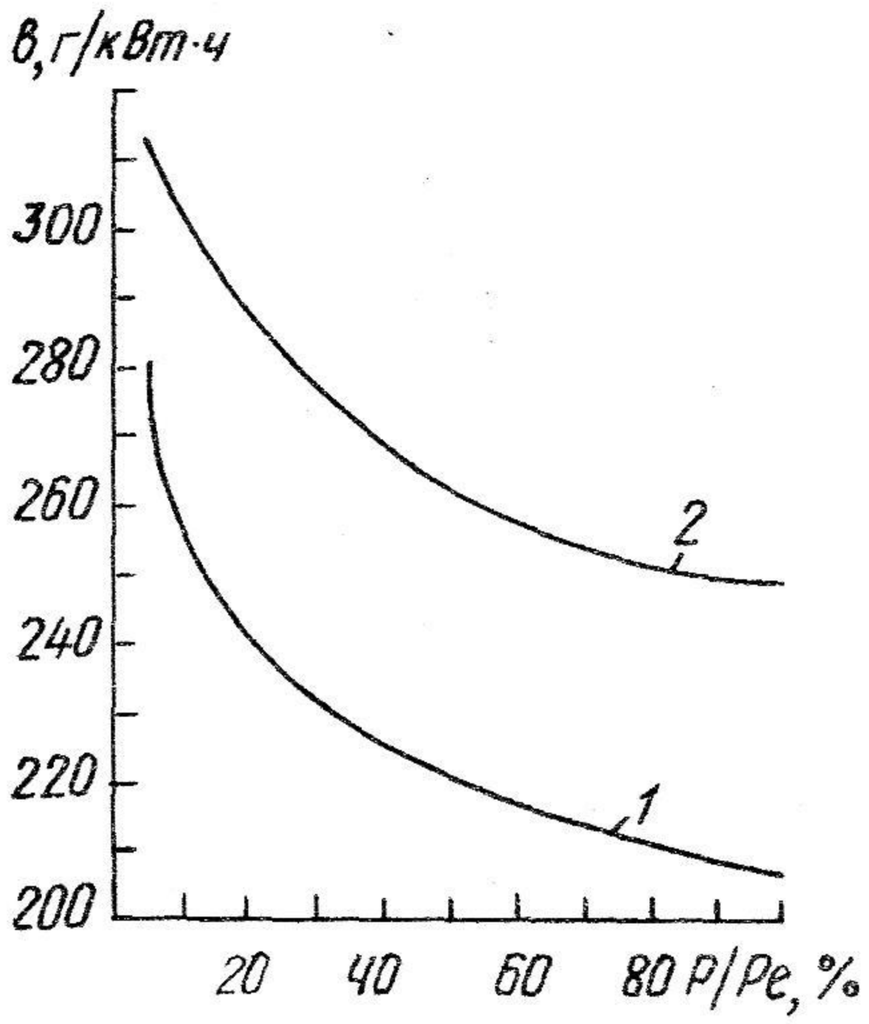
Для расчетов среднеэксплуатационного расхода топлива по результатам стендовых испытаний для каждого типа двигателей строится аппроксимирующая зависимость вида $b = a\ P_e^{-x}$ с полем рассеивания (см. рисунок).

По этой зависимости для каждой позиции режима четырехступенчатого эксплуатационного цикла определяется удельный расход топлива в функции от относительной мощности режима P_j. Затем, с учетом весового фактора режима F_{wj}, рассчитывается среднеэксплуатационный расход топлива по формуле

$$\overline{B} = \sum_{i=1}^{n} b_j\ P_j\ W_j\ ,$$

где b_j - удельный расход топлива на j -м режиме, г/кВт·ч;
P_j - эффективная мощность на j -м режиме, кВт.

В зависимости от продолжительности эксплуатации дизеля необходимо увеличить расход топлива на 9-10 г/кВт·ч на каждые 1000 маш.ч в течение первого года эксплуатации и затем принимать постоянным до капитального ремонта двигателя.



Удельный расход топлива дизелем в зависимости от развиваемой мощности
1 - дизели 6ДМ-21А и 1-26ДГМ;
2 - дизель Д-12А

Для расчета выбросов по методу прямых измерений необходимо выполнить измерения следующих параметров в конкретных условиях эксплуатации: P_j - мощность, развиваемая дизелем на замеряемом j-м режиме, кВт; n_j- соответствующая частота вращения вала дизеля, мин; F_{wj} - весовой фактор режима (относительное время); NO_x- концентрация оксидов азота в ОГ, %; CO - концентрация оксидов углерода в ОГ, %; CH - концентрация углеводородов в ОГ, %;

Таблица 2

Характеристика вредных составляющих отработавших газов

Наименование, обозначение компонентов	Содержание в отработавших газах		Предельно допустимая концентрация		Индекс токсичности атмосферы $\frac{C}{(C)\ ПДК}$
	Концентрация, мг/нм^3	Удельная эмиссия, г/кВт·ч	В атмосфере, мг/нм^3	В воздухе рабочей зоны, мг/нм^3	
Оксид азота NO	1400-4000	6-20	0,6	30	2300-6600
Диоксид азота NO_2	100-500	0,5-2,5	0,085	2	1200-6000
Оксиды азота, сумма по NO_2	1500-4500	8-24	-	-	-
Сажа С	50-500	0,25-2,5	0,15	4	300-3000
Диоксид серы SO_2	100-500	0,50-2,5	0,50	10	200-1000
Оксид углерода CO	500-2000	2,5-10	5,0	20	100-400
Альдегиды А (по акролеину)	10-40	0,05-0,2	0,03	0,2	350-1400
Бенз-α-пирен	$0{,}3\cdot10^{-3}$	$1{,}5\cdot10^{-3}$	$1\cdot10^{-6}$	$1{,}5\cdot10^{-4}$	300
Углеводороды CH	25-250	0,25-2,5	5,0	-	5-50

SO_2 - концентрация диоксидов серы в ОГ, %; С - концентрация сажи в ОГ, г/нм^3; G_{air} - расход воздуха, кг/ч.

При проведении измерений в производственных условиях с погрешностью не более 3 % можно принять расход воздуха G_{air} равным расходу отработавших газов G_{exh}, а также по результатам стендовых испытаний дизеля на тех режимах, на которых проведены измерения состава газов или выполнен хронометраж.

Ориентировочный состав ОГ дизелей по данным стендовых испытаний ЦНИДИ приведен в табл.2.

Расчет эмиссии вредных выбросов на режиме j , в том числе максимальной эмиссии, выполняется по формуле

$$(E_i)_{max} = \frac{1}{1,29} \frac{C_i \mu_i}{2,24} G_{exh},$$

где C_i - объемная доля i-го вредного компонента, %; μ_i - молекулярная масса i-го вредного компонента, у.е.; G_{exh} - расход отработавших газов, кг/ч; 1,29; 2,24 - коэффициенты размерности.

Максимальное значение эмиссии, как правило, достигается на режиме полной мощности.

Среднеэксплуатационная эмиссия определяется по формуле

$$E_i = \frac{1}{1,29} \frac{\mu_i}{2,24} \sum_{j=1}^{n} C_{ij} G_{exh} F_{wj},$$

где F_w - весовой коэффициент режима испытательного цикла, доли единицы; n - число режимов испытательного цикла; i - индекс вредного компонента; при расчетах используются данные осредненного цикла (по весовому фактору) или данные хронометража.

Результаты расчетов объемов вредных выбросов статистическим методом (в числителе) и методом прямых измерений (в знаменателе) показаны в табл.3.

Таблица 3

Объем вредных выбросов дизелями

Расчет	6ДМ-21А			12ЧН26/26		
	NO_x	CO	C	NO_x	CO	C
Максимальная эмиссия, кг/ч	6,7 7,0	3,5 5,0	0,52 0,50	36 37	10,2 8,5	1,5 1,65
Среднеэксплуатационная эмиссия, кг/ч	6,6 6,0	1,8 1,7	0,27 0,26	19,1 20,0	5,1 4,0	0,76 0,56

Выводы

1. В настоящее время отсутствует единая методика расчета вредных выбросов с отработавшими газами самоходной карьерной техникой с дизельным приводом.

2. Для оценки объемов вредных выбросов при эксплуатации дизельной горной техники рекомендуется использовать разработанный ЦНИДИ и СПГГИ статистический метод и метод прямых измерений, дающие наибольшее приближение к реальным условиям эксплуатации.

3. Указанные методы уточняют и дополняют друг друга, однако наиболее достоверным методом оценки объемов вредных выбросов является результат, полученный статистическим методом, основанный на достаточно представительной выборке объектов исследования.

4. Результаты расчетов показывают, что на максимальной мощности разброс данных, полученных на основании одного измерения, может составлять до 30-40 %, в то время как при оценке среднеэксплуатационных выбросов расхождение не превышает 10-15 %.

5. Результаты приведенных расчетов положены в основу разрабатываемой методики по определению вредных выбросов при эксплуатации дизельной техники на открытых работах.