

УДК 381.14:621.3

Ю.Г. Жарко<sup>1</sup>, И.П. Захаров<sup>2</sup>, Е.П. Сорока<sup>2</sup><sup>1</sup>ГП «Харьковский региональный НПЦ стандартизации, метрологии и сертификации», Украина<sup>2</sup>Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ УРОВНЯ ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

*Рассмотрена методика проведения испытаний и особенности обработки результатов измерений при определении уровня дымности отработавших газов автотранспортных средств с оцениванием неопределенности измерений. Приведен пример оценивания неопределенности измерений.*

**Ключевые слова:** автотранспортное средство, дымность отработавших газов, неопределенность измерения.

### Введение

Безопасность дорожного движения (БДД) определяет одно из основных качеств дорожно-транспортных средств (ДТС). Безопасность ДТС условно разделяют на активную, пассивную и экологическую [1]. Экологическая безопасность достигается ограничением излучений и выделений от ДТС, оказывающих отрицательное влияние на участников дорожного движения и окружающую среду. К указанным излучениям и выделениям относятся: шумы, производимые автотранспортным средством, радиопомехи, вызываемые системой электрооборудования автомобилей и выхлопные газы.

П. 59 а главы III Международной конвенции о дорожном движении [2], предписывает, что механизмы и приспособления автомобиля по возможности не должны представлять опасности пожара или взрыва; они не должны также выделять в чрезмерном количестве вредные газы, плотный дым, издавать неприятный запах и производить шум.

Оценка вредности отработавших газов автомобилей с дизельными двигателями производится по их дымности. Дымность на соответствие нормам контролируют:

а) на предприятиях, которые эксплуатируют и обслуживают автомобили: во время технического обслуживания, после ремонта или регулирования агрегатов, систем и узлов, которые влияют на дымность, а также во время выборочной проверки автомобилей;

б) на предприятиях технического обслуживания и ремонта автомобилей: во время технического обслуживания, после ремонта или регулирования агрегатов, систем и узлов, которые влияют на дымность;

в) на предприятиях, изготавливающих автомобили и двигатели, в время испытания готовой продукции;

г) во время проверки автомобилей в дорожных условиях;

д) во время государственных техосмотров автомобилей;

у) во время оценки соответствия (сертификации) автомобилей, бывших в использовании;

ж) во время испытаний автомобилей и двигателей с целью официального утверждения (сертификации) и проверки соответствия производства.

В соответствии со стандартом ISO/TS 16949:2005 [3], свидетельством приемлемости испытательной лаборатории для потребителя является ее аккредитация по международному стандарту ISO/IEC 17025:2005 [4]. Этот стандарт предписыва-

ет необходимость наличия процедур оценивания неопределенности измерений, проводимых в аккредитованных испытательных лабораториях.

**Целью статьи** является рассмотрение особенности обработки результатов измерений дымности отработавших газов автотранспортных средств с дизельными двигателями с оцениванием их неопределенности.

### 1. Методика испытаний

Уровень дымности и методы ее измерения устанавливаются в Украине ДСТУ 4276:2004 [5], а в России – ГОСТ Р 52160:2003 [6].

Основным нормируемым параметром дымности в [2, 3] является коэффициент поглощения света  $k$ , вспомогательным – коэффициент ослабления света  $N$ .

Взаимосвязь между значениями  $N$  и  $k$  определяется выражениями:

$$k = -\frac{1}{L} \ln\left(1 - \frac{N}{100}\right), \text{ м}^{-1}; \tag{1}$$

$$N = 100\left(1 - e^{-kL}\right), \%, \tag{2}$$

где  $L$  – эффективная база дымомера, м.

Зависимость (1) для базы  $L=0,43$  м изображена на рис. 1. Измерение параметров дымности проводят в режиме свободного ускорения в следующей последовательности (рис. 2):

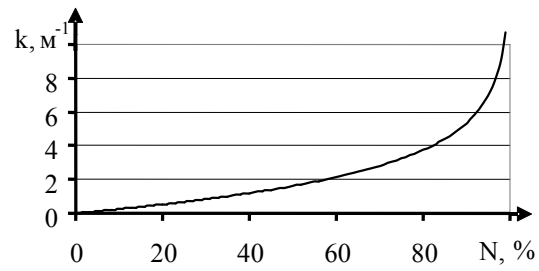


Рис. 1. Зависимость коэффициента поглощения  $k$  от коэффициента ослабления  $N$

- при работе двигателя в режиме холостого хода на  $n_{\min}$  равномерно перемещают педаль за 0,5 – 1,0 с до упора; удерживают педаль в этом положении 2 – 3 с, отпускают педаль и через 8 – 10 с приступают к выполнению следующего цикла;
- циклы свободного ускорения повторяют не менее шести раз;
- измеряют значения  $k$ , на последних четырех циклах свободного ускорения по максимальному показанию дымомера;
- измеренные значения  $k$ , считают достоверными, если четыре последовательных значения не образуют убывающей зависимости и располагаются в зоне шириной  $0,25 \text{ м}^{-1}$ ;
- определяют среднее арифметическое значение четырех последних измерений  $\bar{k}$ , которое принимается за результат измерения.

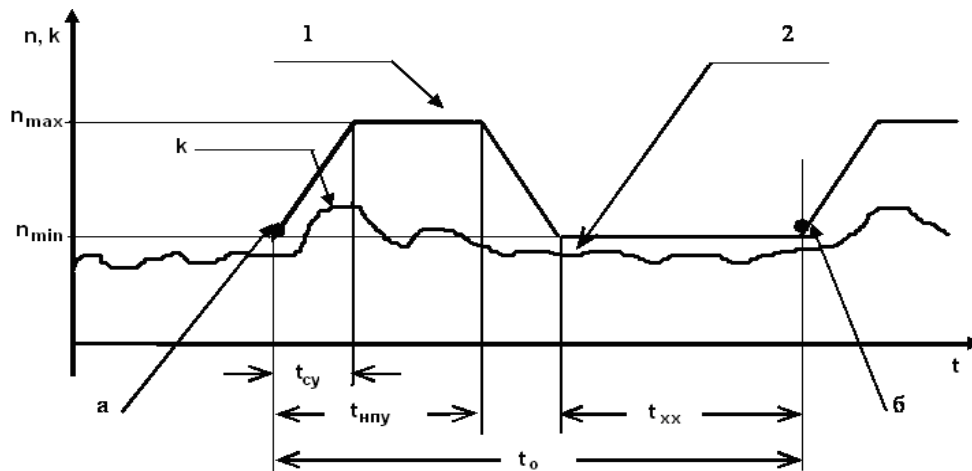


Рис. 2. Характерные формы графиков зависимости частоты вращения ( $n$ ) и дымности ( $k$ ) от времени ( $t$ ) за единичный цикл свободного ускорения минимальная частота вращения:

- 1 – частота вращения коленчатого вала двигателя ( $n$ ); 2 – дымность отработавших газов двигателя ( $k$ );  $n_{\min}$  – максимальная частота вращения;  $n_{\max}$  – максимальная частота вращения;  $t_o$  – общее время одного цикла свободного ускорения (12 – 15 с);  $t_{cy}$  – время свободного ускорения от  $n_{\min}$  до  $n_{\max}$  (1 – 2 с);  $t_{нпу}$  – время нажатой до упора педали (2 – 3 с);  $t_{хх}$  – время работы на  $n_{\min}$  (8 – 10 с);  $k$  – максимальное значение дымности в режиме свободного ускорения; а – начало 1-го цикла свободного ускорения; б – окончание 1-го и начало 2-го цикла свободного ускорения

### 2. Оценивание неопределенности результатов измерений

Процедура оценивания неопределенности измерения уровня дымности была разработана на основе Руководства [7].

Анализ методики испытаний позволяет записать модельное уравнение для коэффициента поглощения света  $\bar{k}$ , при прямом измерении коэффициента ослабления  $k$  в следующем виде:

$$\bar{k} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 (k_i + \Delta_k) = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 k_i + \Delta_k, \tag{3}$$

где  $\Delta_k$  – поправка на неисключенную систематическую погрешность (НСП) измерения коэффициента поглощения, которая может находиться с равной вероятностью в границах  $\pm\theta_k$ .

Из модельного уравнения (3) следует выражение для относительной суммарной стандартной неопределенности измеряемого параметра  $\bar{k}$  (закон распространения неопределенности):

$$u_c(\bar{k}) = \sqrt{u_A^2(\bar{k}) + u_B^2(\Delta_k)}, \quad (4)$$

где стандартная неопределенность измерений  $u_A(\bar{k})$ , оцененная по типу А для четырех наблюдений  $k_i$ , будет равна:

$$u_A(\bar{k}) = \sqrt{\sum_{i=1}^4 (k_i - \bar{k})^2 / 12}, \quad (5)$$

а стандартную неопределенность типа В  $u_B(\Delta_k)$  оценивают из границ НСП дымомера  $\pm\theta_k$  в предположении равномерного распределения  $\Delta_k$  внутри границ:

$$u_B(\Delta_k) = \theta_k / \sqrt{3}. \quad (6)$$

Расширенная неопределенность  $U(\bar{k})$  будет определяться выражением [7]:

$$U(\bar{k}) = t_{0,95}(v_{\text{eff}}) \cdot u_c(\bar{k}), \quad (7)$$

где  $t_{0,95}(v_{\text{eff}})$  – коэффициент Стьюдента для вероятности 0,95 и эффективного числа степеней свободы, получаемого по формуле Велча-Саттерсвейта:

$$v_{\text{eff}} = 3 \left[ u_c(\bar{k}) / u_A(\bar{k}) \right]^4. \quad (8)$$

Например, для приведенных в табл. 1 результатов измерения коэффициента поглощения света, выполненных с помощью дымомера ИНФРАКАР-Д, имеющего предел НСП измерения коэффициента поглощения  $\theta_k = \pm 0,05 \text{ м}^{-1}$  для марки автомобиля Камаз 65115 в технически исправном состоянии, с помощью выражений (3-8) рассчитан бюджет неопределенности, приведенный в табл. 2.

Выражения, аналогичные (3-8) можно привести и для оценивания неопределенности прямого измерения коэффициента ослабления:

$$\bar{N} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 (N_i + \Delta_N) = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 N_i + \Delta_N; \quad (9)$$

$$u_c(\bar{N}) = \sqrt{u_A^2(\bar{N}) + u_B^2(\Delta_N)}; \quad (10)$$

$$u_A(\bar{N}) = \sqrt{\sum_{i=1}^4 (N_i - \bar{N})^2 / 12}; \quad (11)$$

$$u_B(\Delta_N) = \frac{\theta_N}{\sqrt{3}}; \quad (12)$$

$$U(\bar{N}) = t_{0,95}(v_{\text{eff}}) \cdot u_c(\bar{N}); \quad (13)$$

$$v_{\text{eff}} = 3 \left[ \frac{u_c(\bar{N})}{u_A(\bar{N})} \right]^4. \quad (14)$$

Таблица 1

Результаты измерения дымности

	1-й замер	2-й замер	3-й замер	4-й замер	Среднее значение
k	0,340	0,430	0,459	0,430	0,415
N	13,6	16,88	17,9	16,88	16,3

Таблица 2

Бюджет неопределенности измерения коэффициента поглощения

Входная величина	Значение, $\text{м}^{-1}$	Стандартная неопределенность, $\text{м}^{-1}$	Число степеней свободы	Закон распределения
$\bar{k}$	0,415	0,0258	3	Стьюдент
$\Delta_k$	0	0,0289	$\infty$	Равномерный
Измеряемая величина	Значение, $\text{м}^{-1}$	Суммарная стандартная неопределенность, $\text{м}^{-1}$	Эффективное число степеней свободы	Расширенная неопределенность, $\text{м}^{-1}$
$\bar{k}$	0,415	0,0387	15,2	0,083

Для данных табл. 1 и предела НСП измерения коэффициента ослабления дымомера ИНФРАКАР-Д  $\theta_N = \pm 1\%$ , с помощью выражений (9-14) рассчитан бюджет неопределенности, приведенный в табл. 3.

Таблица 3

Бюджет неопределенности измерения коэффициента ослабления

Входная величина	Значение, %	Стандартная неопределенность, %	Число степеней свободы	Закон распределения
$\bar{N}$	16,3	0,936	3	Стьюдент
$\Delta_N$	0	0,577	$\infty$	Равномерный
Измеряемая величина	Значение, %	Суммарная стандартная неопределенность, %	Эффективное число степеней свободы	Расширенная неопределенность, %
$\bar{N}$	16,3	1,1	5,7	2,8

При косвенном измерении  $\bar{k}$  путем пересчета значений коэффициента ослабления  $N_i$ , измеренных дымомером, в значение  $\bar{k}$ , из (1) и (3) получаем следующее выражение:

$$\bar{k} = -\frac{1}{4L} \sum_{i=1}^4 \ln \left( 1 - \frac{N_i + \Delta_N}{100} \right). \quad (15)$$

С другой стороны, значение  $k_{\bar{N}}$  может быть рассчитано через  $\bar{N}$  по формуле:

$$\bar{k}^* = -\frac{1}{L} \ln \left( 1 - \frac{\bar{N} + \Delta_N}{100} \right). \quad (16)$$

Несомненно, что нелинейность уравнения (1)

будет вызывать смещение оценки  $k^*$  по отношению к  $k$ . Существенность этого смещения можно определить исходя из следующих соображений.

Из выражений (15-16) видно, что при отсутствии наблюдаемого рассеивания показаний  $N_i$ , т.е. при  $N_i = \bar{N}$ , оценки (15) и (16) совпадают. Поэтому к смещению будет приводить наблюдаемое рассеивание показаний  $N_i$ . При этом на формулу (16) оно не сказывается, т.к. среднее арифметическое всех случайных отклонений от среднего арифметического будет равно нулю. Представляя в (15)  $N_i = \bar{N} + \Delta_i$ , где  $\Delta_i$  – случайная погрешность измерения  $N_i$ , получаем выражение для абсолютной погрешности измерения :

$$\begin{aligned} \Delta(\bar{k}) &= \bar{k}^* - \bar{k} = -\frac{1}{4L} \sum_{i=1}^4 \ln \left( 1 - \frac{\bar{N} + \Delta_i}{100} \right) + \frac{1}{L} \ln \left( 1 - \frac{\bar{N}}{100} \right) = \\ &= \frac{1}{4L} \sum_{i=1}^4 \ln \left[ \frac{\left( 1 - \frac{\bar{N} + \Delta_i}{100} \right)}{\left( 1 - \frac{\bar{N}}{100} \right)} \right] = \\ &= \frac{1}{4L} \sum_{i=1}^4 \ln \left( 1 - \frac{\Delta_i}{100 - \bar{N}} \right). \end{aligned} \quad (17)$$

Раскладывая выражение (17) в ряд по степеням  $\frac{\Delta_i}{100 - \bar{N}}$  и ограничиваясь членами не выше второго порядка, получаем:

$$\Delta(\bar{k}) \approx -\frac{1}{4L} \sum_{i=1}^4 \left( \frac{\Delta_i}{100 - \bar{N}} + \frac{\Delta_i^2}{2(100 - \bar{N})^2} \right).$$

Первое слагаемое полученного разложения равно нулю, а второе – можно выразить через дисперсию (квадрат неопределенности типа А)  $\bar{N}$  :

$$\Delta(\bar{k}) \approx -\frac{3}{2L(100 - \bar{N})^2} u_A^2(\bar{N}).$$

Зависимость относительной погрешности  $\delta(\bar{k})$  косвенного определения  $\bar{k}$  от  $\bar{N}$  и ее относительной неопределенности типа А  $\tilde{u}_A(\bar{N})$ , имеет вид:

$$\delta(\bar{k}) \approx \frac{150 \cdot \tilde{u}_A^2(\bar{N})}{\left( 1 - \frac{100}{\bar{N}} \right)^2 \cdot \ln \left( 1 - \frac{\bar{N}}{100} \right)}, \%$$

Эта зависимость в допустимом диапазоне изменения  $N$  для  $\tilde{u}_A(\bar{N})=10\%$  представлена на рис. 3. Из рисунка видно, что смещение не является существенным даже для больших значений  $\bar{N}$  и  $\tilde{u}_A(\bar{N})$ . Поэтому выражением (16) можно пользоваться вместо (15) в большинстве практических случаев.

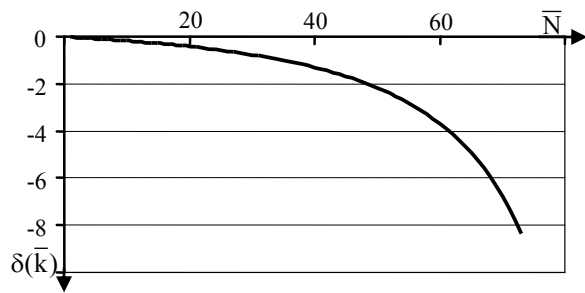


Рис. 3. Зависимость смещения  $\delta(\bar{k})$  при косвенном определении  $\bar{k}$  от коэффициента ослабления  $\bar{N}$  для  $\tilde{u}_A(\bar{N})=10\%$

### Выводы

1. Предложена процедура оценивания неопределенности измерений при определении уровня дымности отработавших газов дизельных автотранспортных средств.

2. При практических измерениях дымности прибором ИНФРАКАР-Д для марки автомобиля Камаз в технически исправленном состоянии расширенная неопределенность в режиме свободного ускорения составила для коэффициента поглощения  $0,083 \text{ м}^{-1}$ , а для коэффициента ослабления –  $2,8\%$ .

3. Показана возможность косвенного определения коэффициента поглощения через коэффициент ослабления по упрощенной формуле.

### Список литературы

1. Жарко Ю.Г. Испытания автотранспорта: стандартизация, сертификация, оценивание неопределенности измерений / Ю.Г. Жарко // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2008. – Вып. 4 (71). – С. 108-111.
2. Конвенция о дорожном движении. – Вена, 1968.
3. ISO/TS 16949:2002. Quality management systems – Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations. – ISO, 2002 – 27 p.
4. ISO/IEC 17025:2005. General requirement for the competence of testing and calibration laboratories. – ISO/IEC, 2005 – 18 p.
5. ДСТУ 4276:2004. Атмосфера. Норми та методи вимірювання димності відпрацьованих газів автомобілів з дизелями або газодизелями. Київ: Держспоживстандарт України, 2005 – 18 с.
6. ГОСТ Р 52160-2003. Автотранспортные средства, оснащенные двигателями с воспламенением от сжатия. Дымность отработавших газов. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния. М.: Стандартинформ, 2007 – 10 с.
7. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. ISO, Geneva, First Edition. – 1995 – 101 p. Пер. с англ. – С.-Петербург: ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 1999 – 126 с.

Поступила в редколлегию 10.04.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.П. Мачехин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

**ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ  
ПІД ЧАС ВИПРОБУВАНЬ УРОВНЯ ДИМНОСТІ ВІДПРАВЦЬОВАНИХ ГАЗІВ**

Ю.Г. Жарко, І.П. Захаров, К.П.Сорока

*Розглянуто методику проведення випробувань та особливості обробки результатів вимірювань рівня під час визначення димності відпрацьованих газів автотранспортних засобів з оцінюванням невизначеності вимірювань. Наведено приклад оцінювання невизначеності вимірювань.*

**Ключові слова:** автотранспортний засіб, димність відпрацьованих газів; невизначеність вимірювань.

**PROCESSING OF MEASUREMENTS RESULTS  
AT DETERMINATION LEVEL OF THE EXHAUST SMOKE OPACITY EMITTED**

Yu.G. Zharko, I.P. Zakharov, K.P. Soroka

*The technique of carrying out of tests and features of measurements results processing at determination level of the exhaust smoke opacity emitted of vehicles with measurements uncertainty evaluation is considered. The example of measurements uncertainty evaluation is resulted.*

**Key words:** the vehicle, exhaust smoke opacity emitted, uncertainty of measurement.