

Оценивание неопределенности измерений при испытаниях автотранспортных средств по уровню внешних и внутренних шумов

д.т.н. проф. Захаров И.П., Жарко Ю.Г., Сергеева А.О.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
+380577512584, newzip@ukr.net

Аннотация. Проанализированы методики испытаний автотранспортных средств по уровню внешних и внутренних шумов. Записаны уравнения измерений, составлены бюджеты неопределенности, приведены выражения для оценивания расширенной неопределенности измерений.

Ключевые слова: автотранспортные средства, шумы, неопределенность измерений.

Уровни внутренних и внешних шумов относятся к параметрам экологической безопасности автотранспортных средств (АТС). П. 59 а главы III Международной конвенции о дорожном движении [1] предписывает, что механизмы и оборудование автомобиля по возможности не должны создавать шум. Это требование приводит к необходимости регламентации параметров интенсивности, спектрального состава, времени действия шумов АТС, а также контроля над их выполнением.

Развитие процессов международной стандартизации привели к разработке технической спецификации по системам менеджмента качества в автомобильной промышленности ISO/TS 16949:2002, принятой в России в качестве национального стандарта [2]. Этот стандарт описывает требования к системам менеджмента качества предприятий, занимающихся проектированием, производством, наладкой и обслуживанием продукции, предназначенной для автомобилестроительной промышленности. В требованиях [2] к испытательным и калибровочным лабораториям указывается, что свидетельством международного признания результатов испытаний и калибровок, проводимых в ней, является ее аккредитация на соответствие требованиям стандарта ISO/IEC 17025 [3]. Последний законодательно закрепил необходимость наличия процедур оценивания неопределенности измерений, проводимых в аккредитованных лабораториях, которые должны создаваться в соответствии с «Руководством о выражении неопределенности в измерениях» [4]. Следует отметить, что процедуры оценивания неопределенности измерений уровня внешнего и внутреннего шумов до настоящего времени разработаны не были. Это ставит задачу проведения анализа методик измерений уровня шумов при испытании АТС с оцениванием их неопределенности.

Измерение внутренних шумов АТС

ГОСТ Р 51616-2000 [5] устанавливает шумовые характеристики, методы их измерения и допустимые уровни шума в салоне автомобилей. Для внутреннего шума приведены ориентировочные значения допустимых уровней звукового давления в октавных полосах частот: уровни звука составляют для легковых автомобилей 80 дБ, кабин или рабочих мест водителей грузовых автомобилей, автобусов – 85 дБ, пассажирских помещений автобусов – 75-80 дБ. Для измерения внутреннего шума должен применяться шумомер 1-го класса [6], при включенной частотной коррекции, соответствующей шкале «А».

Измерения уровня шума необходимо производить в следующих точках:

- у сиденья водителя (точка Б на рисунке 1);
- над каждым рядом сидений (точка А на рисунке 1);
- в зонах для стояния пассажиров на высоте $(1,6 \pm 0,1)$ м от пола, ближе к продольной оси симметрии АТС.

Расстояние от микрофона до стенок кабины и испытателя должно быть не менее соответственно 0,15 и 1 м. Измерения должны производиться при разгоне АТС (за результат принимают максимальное значение шума) и при его движении с постоянной скоростью. При этом выполняют не менее трех измерений в каждой точке и за результат принимают их среднее арифметическое. Разность между полученным наибольшим и наименьшим

значением не должна превышать 2 дБ А. За окончательный результат принимают максимальное значение, получаемое в измерительных точках.

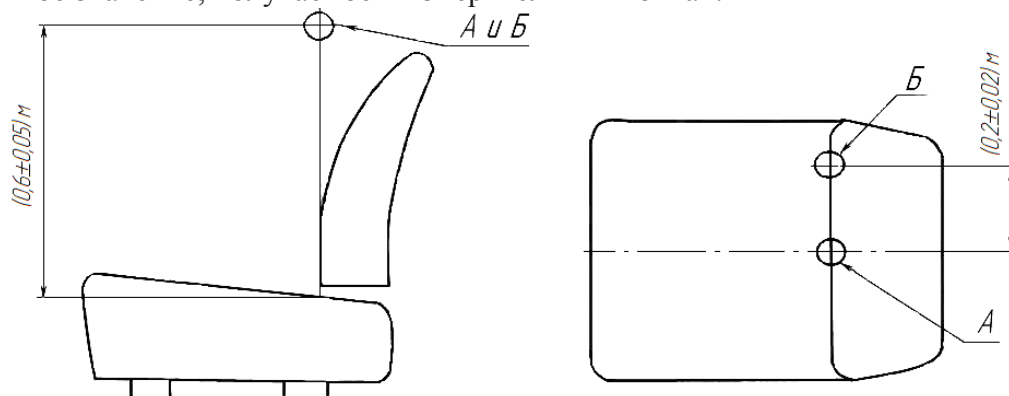


Рисунок 1. Расположение микрофона относительно сиденья

С учетом сказанного, уравнение измерения внутренних шумов будет иметь вид:

$$L_A = \bar{L}_A + \delta_T + \delta_d, \quad (1)$$

где: \bar{L}_A – результат измерения уровня шума, дБА $\bar{L}_A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_{Ai}$ (2); δ_T – поправка на погрешность диапазона температур, дБ; δ_d – поправка на дополнительную погрешность отклонения напряжения питания измерительного прибора, дБ.

Таблица 1.

Бюджет неопределенности измерения уровня внутреннего шума

Входные величины	Оценки входных величин	Стандартные неопределенности входных величин	Число степеней свободы	Вклады неопределенности
\bar{L}_A	(2), дБА	(7), дБА	$n - 1$	(7), дБА
		(4), дБ	∞	(4), дБ
δ_T	0 дБ	(5), дБ	∞	(5), дБ
δ_d	0 дБ	(6), дБ	∞	(6), дБ
Измеряемая величина	Результат измерения	Суммарная стандартная неопределенность	Эффективное число степеней свободы	Расширенная неопределенность
L_A	(4), дБА	(3), дБ	(9)	(8), дБ

Модельному уравнению (1) соответствует следующее выражение для суммарной стандартной неопределенности измерения шумов $u_c(L_A)$ [4]:

$$u_c(L_A) = \sqrt{u_A^2(\bar{L}_A) + u_B^2(L_A) + u^2(\delta_T) + u^2(\delta_d)}, \quad (3)$$

где: $u_B(L_A) = \frac{\theta_L}{\sqrt{3}}$ (4), $u(\delta_T) = \frac{\theta_T}{\sqrt{3}}$ (5), $u(\delta_d) = \frac{\theta_d}{\sqrt{3}}$ (6) – стандартные неопределенности типа B,

соответственно L_A , δ_T , δ_d в предположении равномерного распределения поправки в границах $\pm\theta_L$, $\pm\theta_T$, $\pm\theta_d$; $u(\bar{L}_A)$ – стандартная неопределенность типа A среднего арифметического результатов многократных измерений среднего арифметического

n измерений уровня шума, $u_A(\bar{L}_A) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (L_{Ai} - \bar{L}_A)^2}$ (7).

Расширенная неопределенность вычисляется по формуле:

$$U(L_A) = k \cdot u_c(L_A), \quad (8)$$

где: k – коэффициент охвата, определяемый как коэффициент Стьюдента для вероятности

0,95 и эффективного числа степеней свободы (ЭЧСС) v_{eff} , которое рассчитывается по формуле Велча-Саттерсвейта:

$$v_{eff} = (n-1) \left[\frac{u_c(L_A)}{u_A(\bar{L}_A)} \right]^4. \quad (9)$$

Измерение внешних шумов АТС

При измерении внешних шумов в нормативных документах рассматриваются две ситуации: шумы, излучаемые движущимися и неподвижными АТС.

ГОСТ 31333-2006 [7] устанавливает шумовые характеристики, методы их измерения и допустимые уровни внешнего шума движущегося АТС. Схема испытания представлена на рисунке 2.

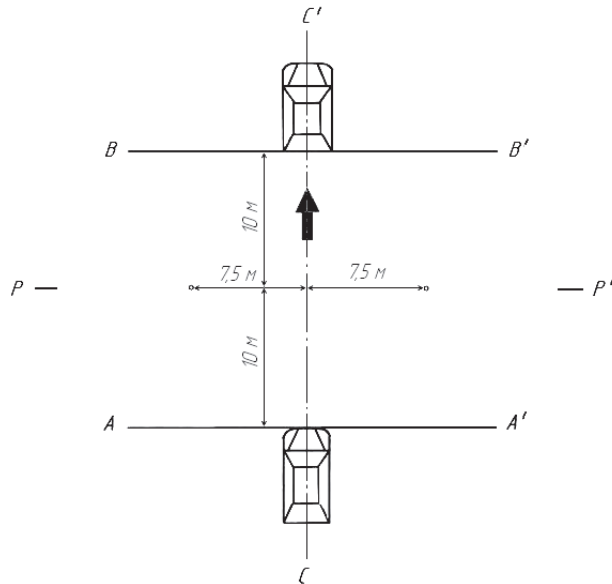


Рисунок 2. Расположение микрофонов при измерении шумов движущегося АТС

Микрофон на трекке устанавливают на расстоянии $7,5 \pm 0,2$ м от контрольной линии CC' и на высоте $1,2 \pm 0,1$ м над поверхностью. Ось максимальной чувствительности должна быть горизонтально и перпендикулярна центральной оси транспортного средства (линия CC'). Максимальный уровень шума, выраженный в децибелах по кривой «А», измеряется в тот момент, когда АТС проходит между линиями AA' и BB' . Полученное значение будет являться результатом измерения. Измерение шума, производимого движущимся АТС, считается действительным, если отклонение между двумя последовательными измерениями с одной и той же стороны АТС не превышает 2 дБА.

Установленной величиной будет считаться величина, соответствующая наиболее высокому уровню звука. Если эта величина превышает более чем на 1 дБА максимальный уровень звука, разрешенный для данной категории испытуемого АТС, то проводится вторая серия из двух измерений при соответствующем положении микрофона. Три из четырех полученных таким образом результатов в этом втором положении должны находиться в предписанных пределах.

Уровень звука, измеренный по шкале «А», от источников звука, иных, чем испытываемое транспортное средство, а также уровень звука от воздействия ветра должны быть по меньшей мере на 10 дБА ниже уровня шума, производимого транспортным средством.

Характеристический уровень звука L_R рассчитывают по формуле:

$$L_R = L_{acc} - K(L_{acc} - L_c), \quad (10)$$

где: L_{acc} – максимальный уровень звука, измеренный при испытаниях при разгоне, дБА; L_c – максимальный уровень звука, измеренный при испытаниях с постоянной скоростью, дБА; K – весовой коэффициент, зависящий от относительной мощности и системы

трансмиссии, его значения для разных АТС приведены в [7].

С учетом поправок на погрешности шумомера δ_T и δ_d , перечисленных в выражении (1), уравнение измерения (11) можно переписать в следующем виде:

$$L_R = (1 - K)(L_{acc} + \delta_T + \delta_d) + K(L_c + \delta_T + \delta_d). \quad (11)$$

Таблица 2.

Бюджет неопределенности измерения уровня внутреннего шума

Входные величины	Оценки входных величин	Стандартные неопределенности входных величин	Коэффициенты чувствительности	Вклады неопределенности
L_{acc}	\widehat{L}_{acc} , дБА	(4), дБА	$(1 - K)$	$(1 - K)u(\widehat{L}_{acc})$, дБА
L_c	\widehat{L}_c , дБА	(4), дБА	K	$Ku(\widehat{L}_c)$, дБА
δ_T	0 дБ	(5), дБ	$\sqrt{(1 - K)^2 + K^2}$	$u(\delta_T)\sqrt{(1 - K)^2 + K^2}$, дБ
δ_d	0 дБ	(6), дБ	$\sqrt{(1 - K)^2 + K^2}$	$u(\delta_d)\sqrt{(1 - K)^2 + K^2}$, дБ
Измеряемая величина	Результат измерения	Суммарная стандартная неопределенность	Коэффициент охвата	Расширенная неопределенность
L_R	(10), дБА	(12), дБ	2	(13), дБ

Модельному уравнению (11) соответствует следующее выражение для суммарной стандартной неопределенности измерения шумов $u_c(L_R)$ [4]:

$$u_c(L_R) = \sqrt{(1 - K)^2 u^2(\widehat{L}_{acc}) + [(1 - K)^2 + K^2] [u^2(\delta_T) + u^2(\delta_d)] + K^2 u^2(\widehat{L}_c)}, \quad (12)$$

где: $u(\widehat{L}_{acc})$, $u(\widehat{L}_c)$ – стандартные неопределенности типа B оценок величин L_{acc} и L_c .

Расширенная неопределенность измерения L_R для вероятности 0,95 в этом случае будет вычисляться по формуле:

$$U(L_R) = 2u_c(L_R). \quad (13)$$

ГОСТ Р 52231-2004 [8] устанавливает шумовые характеристики, методы их измерения и допустимые уровни шума неподвижных АТС. В качестве основной характеристики внешнего шума принят уровень звука, который не должен превышать для легковых автомобилей и автобусов 85-92 дБ, мотоциклов – 80-86 дБ. Расположение микрофонов относительно неподвижных АТС приведены на рисунке 3.

Измерение максимального уровня шума, выраженного в децибелах по кривой «А», производится в течение периода работы двигателя. В каждой точке измерения проводится не менее трех измерений. С измерительного прибора снимаются показания в децибелах, округленные до ближайшего целого числа. Учитываются только те показания, которые были получены в результате трех последовательных измерений и расхождение между которыми соответственно не превышает 2 дБА. Результатом испытаний будет считаться максимальная из этих трех показаний величина.

С учетом сказанного, уравнение измерения будет иметь вид:

$$L_A = \widehat{L}_A + \delta_T + \delta_d, \quad (14)$$

где: \widehat{L}_A – результат измерения уровня шума, дБА.

Модельному уравнению (16) соответствует следующее выражение для суммарной стандартной неопределенности измерения шумов $u_c(L_A)$:

$$u_c(L_A) = \sqrt{u^2(\widehat{L}_A) + u^2(\delta_T) + u^2(\delta_d)}. \quad (15)$$

Расширенная неопределенность вычисляется по формуле:

$$U(L_A) = 2u_c(L_A). \quad (16)$$

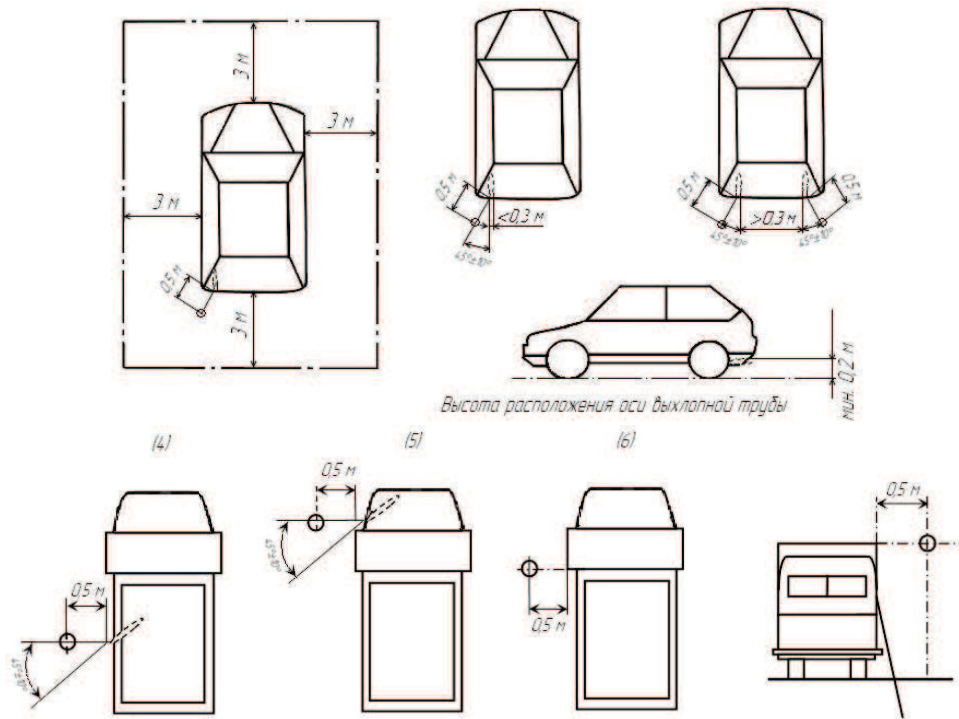


Рисунок 3. Положения микрофонов для измерений шума неподвижных АТС

Таблица 3.

Бюджет неопределенности измерения уровня внешнего шума для неподвижного АТС

Входные величины	Оценки входных величин	Стандартные неопределенности входных величин	Вклады неопределенности
\hat{L}_A	$\max(\hat{L}_A)$, дБА	(4), дБ	(4), дБ
δ_T	0 дБ	(5), дБ	(5), дБ
δ_d	0 дБ	(6), дБ	(6), дБ
Измеряемая величина	Результат измерения	Суммарная стандартная неопределенность	Расширенная неопределенность
L_A	$\max(\hat{L}_A)$, дБА	(15), дБ	(16), дБ

Литература

1. Конвенция о дорожном движении. – Вена, 1968.
2. ГОСТ Р ИСО/ТУ 16949-2009. Системы менеджмента качества. – Особые требования по применению ИСО 9001:2008 в автомобильной промышленности и организациях, производящих соответствующие запасные части.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
4. ГОСТ Р 54500.3 – 2011. Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерений.
5. ГОСТ Р 51616-2000. Автомобильные транспортные средства. Шум внутренний. Допустимые уровни и методы измерений.
6. ГОСТ 17187-81 (МЭК 60651:1979). Шумомеры.
7. ГОСТ 31333-2006. Шум машин. Измерение шума легковых пассажирских автомобилей в условиях, соответствующих городскому движению.
8. ГОСТ Р 52231-2004. Внешний шум автомобилей в эксплуатации. Допустимые уровни и методы измерений.