

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОГО РАЗБРОСА ШУМА ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Долотов А.А., к.т.н. Победин А.В., к.т.н. Косов О.Д., Искалиев А.И.
Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)
+78442248162, ts@vstu.ru

В статье рассмотрена возможность получения расчетной оценки шумности тягово-транспортных средств (ТТС) с учетом разброса значений звуковой мощности отдельных источников. Получена функция распределения возможного значения шума автомобиля.

Ключевые слова: тягово-транспортное средство (ТТС), шум, уровень звукового давления (УЗД), звуковая мощность, математическое ожидание, разброс, средне-квадратическое отклонение

Современное проектирование тягово-транспортных средств (ТТС) в рамках обязательных рекомендаций санитарных норм РФ предполагает необходимый учет требований безопасности жизнедеятельности человека при эксплуатации ТТС. К таким требованиям прежде всего относится шумность как на рабочем месте, так и вокруг ТТС, которая регламентируется различными документами [1, 2]. В сложившейся ситуации наиболее важной и в то же время удобной является расчетная оценка шума в определенных точках шумового поля разрабатываемой машины уже на стадии проектирования. При этом для правильного выбора акустических характеристик шумоизолирующих и шумопоглощающих конструкций, обеспечивающих допустимые уровни звукового давления (УЗД) в расчетных точках, необходимо знать вероятные отклонения шума от ожидаемого значения. В настоящее время эти отклонения (для разных экземпляров ТТС данной модели) определяются только экспериментально [3-6].

Предлагаемый в данной статье вариант расчетной оценки основан на теории определения погрешности результата измерений нескольких независимых величин [8, 9].

Известно [2, 7], что суммарный расчетный уровень звукового давления определяется по формуле энергетического сложения:

$$L = 10 \cdot \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{(0,1 \cdot L_i)} \right), \quad (1)$$

где L_i – звуковая мощность i -го источника

шума (применительно к ТТС источниками шума являются: двигатель, коробка передач, главная передача, движитель и др.); n – число источников шума на ТТС.

Реально L_i определяет только математическое ожидание значения звуковой мощности i -го источника шума. Обозначим через Δ_i разброс значений величины L_i (можно считать половину доверительного интервала для величины L_i).

Разброс суммарной величины можно подсчитать по формуле, связывающей погрешность функции с погрешностями аргументов [9]. Если – функция и Δ_i – абсолютная погрешность i -го аргумента, то погрешность функции не превосходит величины:

$$\Delta_F \leq \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial F}{\partial x_i} \right| \cdot \Delta_i.$$

В нашем случае:

$$\Delta_L \leq \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial L}{\partial L_i} \right| \cdot \Delta_i. \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial L_i} &= 10 \cdot \lg(e) \cdot \frac{0,1 \cdot \ln(10) \cdot 10^{(0,1 \cdot L_i)}}{\sum_{i=1}^n 10^{(0,1 \cdot L_i)}} = \\ &= 10 \cdot \lg(e) \cdot \ln(10) \cdot 0,1 \cdot \frac{10^{(0,1 \cdot L_i)}}{\sum_{i=1}^n 10^{(0,1 \cdot L_i)}}. \end{aligned}$$

Поскольку $\lg(e) \cdot \ln(10) = 1$, то:

$$\frac{\partial L}{\partial L_i} = \frac{10^{(0,1 \cdot L_i)}}{\sum_{i=1}^n 10^{(0,1 \cdot L_i)}}.$$

Окончательно получим формулу для оценки суммарного разброса шума от нескольких источников:

$$\Delta_L \leq \frac{\sum_{i=1}^n 10^{(0,1 \cdot L_i)} \cdot \Delta_i}{\sum_{i=1}^n 10^{(0,1 \cdot L_i)}}. \quad (3)$$

Следовательно, с учетом (1), (2) и (3) можно записать:

$$L = 10 \cdot \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{(0,1 \cdot L_i)} \right) + \frac{\sum_{i=1}^n 10^{(0,1 \cdot L_i)} \cdot \Delta_i}{\sum_{i=1}^n 10^{(0,1 \cdot L_i)}}.$$

При этом очевидно, что первое слагаемое в этом выражении можно принять за математическое ожидание суммарного расчетного уровня шума, а второе определяет предельно возможное отклонение действительного значения от среднего (математического ожидания).

Но при нормальном законе распределения отклонений можно с надежностью 0,997 принять [8, 9], что:

$$\Delta = 3 \cdot \sigma,$$

где σ – среднее квадратическое отклонение.

Знание математического ожидания и среднее квадратическое отклонение позволяет по-

строить функцию распределения случайной величины. В нашем случае это функция распределения возможного значения шума, полученного в результате сложения от нескольких источников, имеющих свой разброс возможных значений [8, 9]:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{x-m}{\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz,$$

где P – вероятность того, что значения случайной величины x (в нашем случае УЗД) будет меньше заданного; z – переменная интегрирования, зависящая от $m = L$ и σ .

На рис. 1 представлен график функции распределения шума ТТС в расчетной точке, а в таблице показано их процентное попадание в диапазон значений, ниже заданного.

Видно, что, если допустимый УЗД в данной точке составляет 78 дБ, только 69 % из автомобилей этой модели будут соответствовать норме. Если при этом за счет улучшения акустических характеристик снизить УЗД на 1 дБ (т.е. на 1 дБ снизить шум), то в указанный предел уже будет входить 83 % автомобилей.

Но того же самого эффекта можно добиться за счет уменьшения разброса значений УЗД при снижении среднеквадратического отклонения всего на 1 дБ (таблица 1). Одновременное же использование этих двух методов приведет к тому, что только около 7% автомобилей не будут отвечать требованиям шумности.

Таким образом, вероятностный расчет шумности ТТС позволяет оценивать возможные методы снижения УЗД в расчетных точках, добиваясь наиболее оптимального варианта.

Таблица 1

Х в дБ	Доля автомобилей, у которых шум не больше Х
$L - 3\sigma = 71$	0,13%
$L - 2,5\sigma = 72$	1,62%
$L - 2\sigma = 73$	2,28%
$L - 1,5\sigma = 74$	6,68%
$L - \sigma = 75$	15,87%
$L - 0,5\sigma = 76$	30,85%
$L = 77$	50,00%
$L + 0,5\sigma = 78$	69,15%
$L + \sigma = 79$	84,13%
$L + 1,5\sigma = 80$	93,32%
$L + 2\sigma = 81$	97,72%
$L + 2,5\sigma = 82$	99,38%
$L + 3\sigma = 83$	99,87%

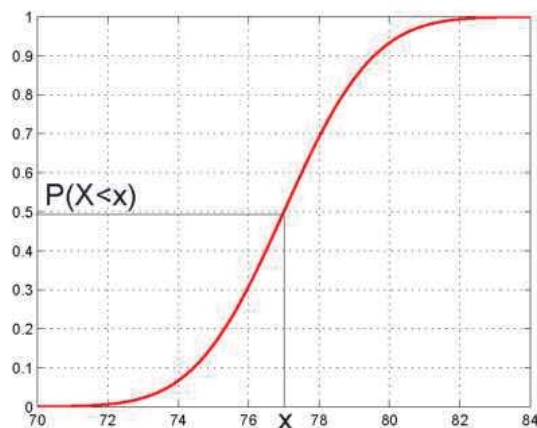


Рис. 1. Функция распределения ($L = 77$ (дБ), $\sigma = 2$ (дБ))

Литература

1. ГОСТ Р 52231-2004 Внешний шум автомобилей в эксплуатации. Допустимые уровни и методы измерения – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004.
2. Ломакин В.В., Покровский Ю.Ю., Степанов И.С., Гоманчук О.Г. Безопасность автотранспортных средств: Учебник для вузов / Под общ. ред. В.В. Ломакина. – М: МГТУ «МАМИ», 2011. – 299 с.
3. Григорьев Е.А., Победин А.В. Статистическая оценка шума и вибраций тракторов // Механизация и электрификация социалистич. сельского хоз-ва. – 1974. – № 8. – С. 36–37.
4. Крузе А.О., Крузе О.О. Статистическая оценка шума автомобилей // Автомобильные перевозки, организация и безопасность дорожного движения. – 1981. – С. 28–34.
5. Статистическая оценка шумности автомобиля ВАЗ-21102 / А.В. Победин, О.Д. Косов, В.Н. Орешкин, И.В. Ходес, М.Ю. Илюхин, Ю.В. Климов // Колесные и гусеничные машины: Межвуз. сборник науч. трудов / МАМИ (МГТУ). – М., 2004. – Вып.1.
6. Победин, А.В. Вероятностная оценка шума автомобилей семейства ГАЗ-3110 / А.В. Победин, О.Д. Косов, А.А. Долотов // Проектирование колесных машин: матер. всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию начала подгот. инж. по автомобильной специальности в МГТУ им. Н.Э. Баумана (25-26 дек. 2009 г.) / ГОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана». – М., 2010. – С. 177–178.
7. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. Учебник. – М.: Университетская книга, Логос. – 2008. – 424 с.
8. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. – М.: Наука, 1969. – 512 с.
9. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерное приложение. – М.: Высш. шк., 2000. – С. 471–472.