

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМА СИСТЕМЫ “ШИНЫ АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА – ДОРОЖНОЕ ПОКРЫТИЕ”

© 2012 А.В. Васильев, Е.А. Комлик

Тольяттинский государственный университет

Поступила в редакцию 29.09.2011

Предложена методика расчета шума, создаваемого системой “шины автотранспортного средства – дорожное покрытие”. Представлены результаты экспериментальных исследований акустических характеристик шин для различных для различных конструкций шин и типов дорожных покрытий. Ключевые слова: автотранспортное средство, шум, шины, дорожное покрытие, расчет, эксперимент

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Акустическое воздействие на окружающую среду и человека в настоящее время представляет собой одну из глобальных современных проблем. По некоторым оценкам, неблагоприятное воздействие шума ощущает каждый второй житель Земли. Особенно неблагоприятно воздействие шума в условиях современного города.

Негативные последствия воздействия интенсивного звука на организм человека многообразны и не ограничиваются воздействием на орган слуха [1, 3 и др.]. Через волокна слуховых нервов раздражение звуком передается в центральную и вегетативную нервную системы, а через них воздействует на внутренние органы, приводя к значительным изменениям в функциональном состоянии организма, влияет на психическое состояние человека, вызывая чувство беспокойства и раздражения, повышенную психическую утомляемость. Особенно вреден шум в ночное время.

Шум, возникающий при взаимодействии шин автотранспортного средства с дорожным покрытием при скорости движения свыше 50 км/ч, является наиболее интенсивным источником акустического излучения, в значительной степени определяющим общий уровень внешнего шума автотранспортного средства. При этом дорожное покрытие играет важную роль в процессе генерации и распространения шума. При движении автомобиля неровность дорожной поверхности заставляет шины вибрировать, производя звуковые волны. Это явление вызывает шум, похожий на гул. Однако создание дорог с более гладкой поверхностью не решит проблему полностью, поскольку есть еще и другое явление - это воздух,

*Андрей Витальевич Васильев, доктор технических наук, профессор, директор института химии и инженерной экологии. Email: avassil62@mail.ru*

*Евгений Александрович Комлик, аспирант кафедры “Инженерная защита окружающей среды”.*

*Email: ea\_komlik@mail.ru*

“захватываемый” шиной при движении.

Настоящая статья посвящена разработке методики акустического расчета системы “шины автотранспортного средства – дорожное покрытие”.

### 2. АКУСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ “ШИНЫ АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА – ДОРОЖНОЕ ПОКРЫТИЕ” И ЕГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА

Математическое описание процесса формирования звука при взаимодействии системы “шины автотранспортного средства – дорожное покрытие”, основано на акустических аналогиях Лайтхилла. Расчет уровня звука, возникающего при обтекании движущихся объектов потоком воздуха, сводится к решению задачи акустики, основанной на акустических аналогиях Лайтхилла. Расчет турбулентного потока жидкости, порождающего звук, производится в сравнительно небольшом конечном объеме. Далее по турбулентному полю вычисляется возникающий от этого поля звук (шум).

Используя общие методы решения неоднородного волнового уравнения для акустического давления в точке наблюдения на основе теории Лайтхилла и результатов исследования Керла, формула для расчета уровня акустического излучения примет вид:

$$L = 20 \lg \left( \frac{1}{4\pi} \int_S \frac{\partial}{\partial t} [\rho \cdot v_i \cdot n_i] \frac{dy}{r} - \frac{1}{4\pi} \frac{\partial}{\partial x_i} \int_S [\rho \cdot v_i \cdot v_j + P \cdot \delta_{ij} + \mu \cdot \left( 2 \frac{\partial v_i}{\partial x_i} - \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \right) v_j] \frac{dy}{r} + \frac{1}{4\pi} \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} \int_\Omega [(P - C_0^2 \cdot \rho) \delta_{ij} + \rho \cdot v_i \cdot v_j + \mu \cdot \left( 2 \frac{\partial v_i}{\partial x_i} - \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \right) \frac{dy}{r} + P_0] \frac{1}{P_0} \right) \quad (1)$$

где  $S$  – имеющаяся в потоке поверхность;  $\rho$  – плотность невозмущенной среды;  $v$  – скорость движения;  $r$  – расстояние между точкой наблю-

дения и точкой на поверхности Кирхгофа;  $P_0$  - нулевой порог слышимости ( $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па);  $C_0$  - скорость звука;  $n_i$  - составляющая вектора нормали;  $\delta_{i,j}$  - дельта Кронекера;  $\mu$  - коэффициент динамической вязкости;  $P$  - звуковое давление (Па);  $\Omega$  - пространственная область;  $v_i, v_j$  - составляющие вектора скорости.

В результате решения дифференциального уравнения (1), получим:

$$L = 20 \lg \left( \frac{0.08 \cdot \rho \cdot S \cdot \sqrt{v}}{r \cdot t \cdot P_0} \right). \quad (2)$$

Связь уровня звука с физическими параметрами, воздействующих на объект движения, основано на преодолении сил сопротивления движения. При движении автомобиля энергия, подведенная к ведущим колесам, расходуется на преодоление сил сопротивления движению, к которым относятся: сила  $P_f$  сопротивления качению колес автомобиля по дороге, сила  $P_A$  сопротивления, возникающая при движении автомобиля на подъем, сила  $P_j$  сопротивления разгону автомобиля при движении ускоренно, сила  $P_w$  сопротивления воздуха.

$$P_K = P_\phi + P_w + P_j + P_f + P_A. \quad (3)$$

Подставим значения сил сопротивления, уравнение тягового баланса примет вид:

$$\frac{M_E i_K i_0 \eta_M}{r_K} = \psi G_A + kfV^2 + \frac{G_A \delta i}{g} + G_A f + \varphi 2Z_{K2}. \quad (4)$$

В случае движения автомобиля по инерции силы сопротивления движению преодолеваются за счет накопленной в период разгона кинетической энергии.

В результате тождественных преобразований (2) получим:

$$L = 20 \lg \left( \frac{0.08 \cdot \rho \cdot S \cdot \sqrt{\frac{N_E \cdot 60 \cdot 735.5 \cdot i_K i_0 \eta_M}{2\pi \cdot n} - \psi G_A - \frac{G_A \delta i}{g} - G_A f - \varphi 2Z_{K2}}}{r \cdot t \cdot P_0} \right) \quad (5)$$

где  $i_K$  - передаточное число коробки передач;  $i_0$  - передаточное число главной передачи;  $\eta_M$  - механический к. п. д. трансмиссии;  $n$  - число оборотов двигателя;  $N_E$  - мощность двигателя;  $G_A$  - сила тяжести;  $f$  - коэффициент сопротивления качению;  $K$  - коэффициент сопротивления воздуха;  $f$  - лобовая площадь автомобиля;  $w$  - суммарным коэффициентом сопротивления дороги;  $g$  - ускорение силы тяжести;  $\delta$  - коэффициент учета вращающихся масс;  $Z_{K2}$  - реакция радиальные реакции на каждое из задних колес;  $r_K$  - радиус качения колеса (м);  $\varphi$  - коэффициент сцепления шин ведущих колес автомобиля с дорогой.

На основании полученных результатов установлена зависимость уровня акустического излучения, создаваемого шинами автотранспортного средства во время движения, от следующих факторов:

- скорость движения автотранспортного средства;
- вид и состояние дорожного покрытия;
- температура окружающей среды, наличие осадков и пр.;
- конструктивные характеристики шины автотранспортного средства;
- габаритные размеры автотранспортного средства;
- масса автотранспортного средства.

Для проверки точности результатов акустического расчета системы "шины автотранспортного средства - дорожное покрытие" проведены экспериментальные исследования акустических характеристик шин для различных для различных конструкций шин и типов дорожных покрытий. Измерения проводились в соответствии с требованием ГОСТ Р 52800-2007 на технически исправном автомобиле по ГОСТ Р 51616-2000.

Результаты анализа проведенных экспериментальных и теоретических исследований по замеру уровня шума автомобильных шин, выполненных с использованием разработанной методики акустического расчета, представлены в табл. 1.

Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными показывает достаточно высокую точность расчетов. Погрешность расчета уровня внешнего шума с использованием программного приложения составляет не более 5 %.

Достоверность полученных результатов исследования обусловлена использованием современных апробированных научных методов и подходов, проведением экспериментальных исследований аккредитованной лабораторией с использованием прецизионной измерительной аппаратуры, прошедшей государственную поверку, большим объемом полученных экспериментальных данных и применением методов статистической обработки данных.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе исследованы проблемы, связанные с моделированием и расчетом шума, создаваемого системой "шины автотранспортного средства - дорожное покрытие". Приводится математическое описание процесса формирования звука при движении шин. Описаны особенности и результаты акустического расчета системы "шины автотранспортного средства - дорожное покрытие". Разработанная и апробированная методика расчета шума системы "шины автотранспортного средства - дорожное покрытие" позволяет эффективно снижать акустический

Таблица 1. Результаты замера уровня шума автомобильных шин

Влияние отдельных компонентов на уровень шума автомобильных шин	Результаты исследований	
	Расчетные (выполненные с использованием разработанной методики расчета)	Экспериментальные (ГОСТ Р 52800-2007)
Посадочный диаметр обода (в диапазоне R13 - R14)	Увеличение посадочного диаметра обода приводит к увеличению уровня звука на 0,15 дБА	Увеличение посадочного диаметра обода приводит к увеличению уровня звука на 0,5 дБА в частотном диапазоне 1...2,5 кГц
Соотношение высоты профиля к ширине (175/70/R14 - 175/65/R14)	Шины 70 серии приводят к увеличению уровня звука на 0,1%, по сравнению с шинами 65 серии	Шины 70 серии приводят к увеличению уровня звука на 0,3 дБА в частотном диапазоне 63...1000 Гц, по сравнению с шинами 65 серии
Ширина профиля шины (185/65/R14 - 175/65/R14)	Увеличение ширины профиля на 5,5% приводит к росту уровня звука на 0,05 дБА	Увеличение ширины профиля шины на 5,5% приводит к росту уровня звука на 0,5 дБА в частотном диапазоне 63...2500 Гц
Тип протектора	Изменение характера рисунка протектора приводит к изменению уровня шума в пределах 1-2 дБА	Уровень акустического излучения шин Таганка Partner, с всепогодным рисунком протектора, на 2,5 дБА (в частотном диапазоне 25...63 Гц) и 1 дБА (в частотном диапазоне 63...160 Гц) превосходит уровень акустического излучения шин Cordiant Comfort, с летним рисунком протектора
Тип дорожного покрытия	Грунтовое покрытие на 2,1 дБА более шумно, чем асфальтобетонное; а бетонное на 1,3 дБА менее шумно, чем грунтовое	Уровень звука на бетонном покрытии, в частотном диапазоне 31,5...125 Гц, на 1 дБА больше, чем на асфальтобетонном
Состояние дорожного покрытия	На влажном покрытии увеличение уровня звука составляет 5,5 - 6 дБА. В снегопад уровень звукового давления может снизиться на 6 - 8 дБА	На влажном покрытии увеличение уровня звука достигает 5 - 6 дБА, в частотном диапазоне 25...160 Гц, и 2 - 3 дБА, в частотном диапазоне 160...2500 Гц

кое излучение от автомобильных шин и тем самым вносит существенный вклад в обеспечение шумовой безопасности современного города.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев А.В., Шевченко Д.П. Моделирование, расчет и мониторинг шума транспортных потоков. // Известия Самарского научного центра РАН. 2004. Т.6. №2. С. 399-407.
2. Иванов Н.И., Никифоров А.С. Основы виброакустики: Учебник для вузов. СПб.: Политехника, 2000. 482 с.
3. Комлик Е.А., Васильев А.В. Математическое описание и расчет шума системы "шины автотранспортного средства – дорожное покрытие" // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. Т. 12. №1 (9). С. 2246-2250.

#### METHODIC OF CALCULATION AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF NOISE OF THE SYSTEM "VEHICLE'S TIRES – ROAD SURFACE"

© 2012 A.V. Vasilyev, E.A. Komlik

Togliatti State University, Togliatti, Russia

Methodic of calculation of noise of the system "vehicle's tires – road surface" is suggested. Results of experimental investigations of acoustical characteristic of tires for different tires constructions and types of road surfaces are submitted.

Key words: vehicle, noise, tires, road surface, calculation, experiment

Andrey Vasilyev, Doctor of Technical Science, Professor, Director of the Institute of Chemistry and Environmental Engineering. Email: avassil62@mail.ru  
Eugene Komlik. Postgraduate of Department of Environmental Protection Engineering. Email: ea\_komlik@mail.ru