

### Литература

1. Tractor test publications. <http://NE>.
2. Городецкий К.И., Шуваев Д.Н., Шевелев А.С. Предпосылки создания тракторов с кусочно-бесступенчатым способом регулирования скорости их движения// Тракторы и сельхозмашины, 2013, № 3. - С. 13-16.
3. Титов А.И., Городецкий К.И., Шарипов В.М. Скорости тракторов. – Справочник. Инженерный журнал, 2009, №3. - С. 28-32.
4. Agrartechnik, jun, 1999.
5. Шарипов В.М. Проектирование механических, гидромеханических и гидрообъемных передач тракторов. - М.: МГТУ «МАМИ», 2002. – 300 с.
6. Устройство тракторов/ В.М. Шарипов, К.И. Городецкий, А.П. Маринкин и др.; Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: МГТУ «МАМИ», 2007. – 320 с.
7. Тракторы и автомобили/ В.М. Шарипов, М.К. Бирюков, Ю.В. Дементьев и др.; Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Издательский дом «Спектр», 2010. – 351 с.
8. Тракторы. Конструкция/ В.М. Шарипов, Д.В. Апельинский, Л.Х. Арустамов и др.; Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Машиностроение, 2012. – 792 с.
9. Смирнов В.И. Курс высшей математики. Т. 3. – М.: Наука, 1974. – 672 с.

### **Внешние инфразвуковые поля наземных транспортных средств**

д.т.н. проф. Графкина М.В., д.т.н. проф. Нюнин Б.Н., к.т.н. Свиридова Е.Ю., Ральченко В.И.  
Университет машиностроения  
8 (499) 2671605, [esomami@mail.ru](mailto:esomami@mail.ru)

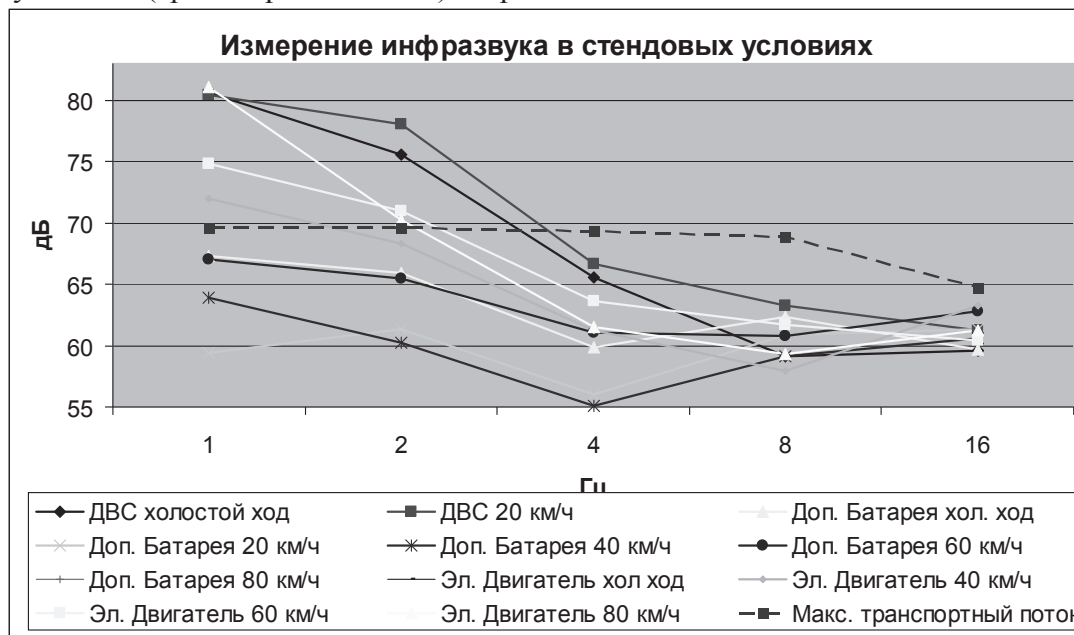
*Аннотация.* Исследование внешнего инфразвукового поля автомобиля в реальных и стендовых условиях позволит решать принципиально новые задачи по выявлению источников и механизма возникновения инфразвука, развитию мониторинга инфразвуковых полей наземных транспортных средств, создать модель расчета ожидаемого уровня инфразвука, а также предложить методы по снижению этого уровня до требований санитарных норм.

*Ключевые слова:* исследование физических полей, внешние инфразвуковые поля наземных транспортных средств, модель расчета ожидаемого уровня инфразвука, источники и механизм возникновения инфразвука

Одним из основных источников инфразвуковых полей на селитебных территориях являются наземные транспортные средства. В настоящее время существенный вклад в инфразвуковое загрязнение вносит автомобиль, что объясняется ростом автомобильного парка в РФ. Однако в современных публикациях недостаточно данных об исследованиях инфразвуковых полей автомобиля в реальных и стендовых условиях, теоретических моделей возникновения инфразвука, а также результатов по прогнозированию уровней инфразвукового давления на основе расчетных моделей. В связи с этим целесообразным является дальнейшее исследование проблемы внешних инфразвуковых полей наземных транспортных средств. Авторы имеют определенные наработки в этой области, которые позволяют найти современный подход к определению, расчету и моделированию расчета ожидаемого уровня инфразвука. [1-3]

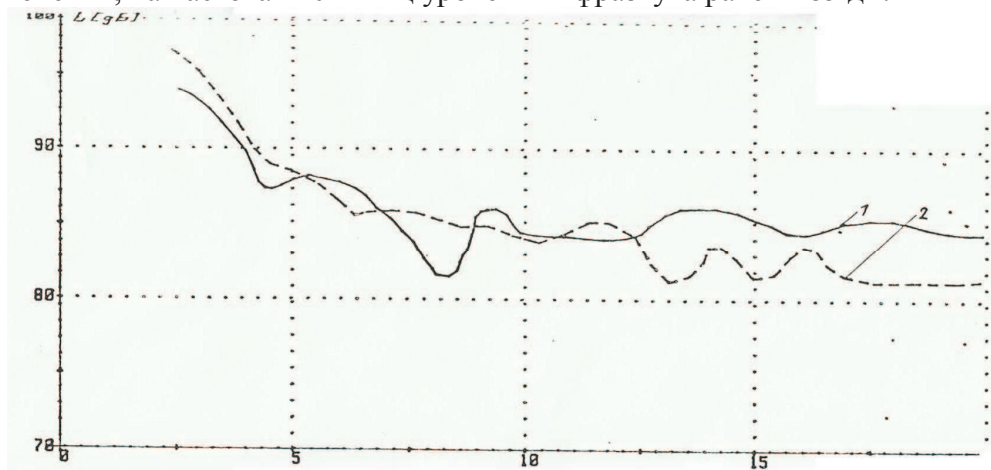
На первом этапе были проведены измерения внешнего инфразвука гибридного автомобиля Lexus RX400H на колесном мощностном стенде LPS 3000 для легковых автомобилей, предназначенного для измерений линейной скорости, тягового усилия и мощности двигателя автомобиля. Были использованы только возможности стенда по имитации городского цикла езды автомобиля. Измерения уровня инфразвуковых полей проводились на следующих режимах - холостой ход, 20 км/ч, 60 км/ч, 80 км/ч на расстоянии 1 м от боковой поверхности салона. Результаты исследования представлены на рисунке 1. Анализ показывает, что при

стендовых испытаниях в диапазоне частот 11-12 Гц инфразвук не превышает 65 дБ, а в реальных условиях (транспортный поток) возрастает до 70 дБ.



**Рисунок 1. Измерение инфразвука в стендовых условиях**

На втором этапе был проведен анализ результатов измерения внешнего инфразвука легкового автомобиля в реальных условиях. На рисунке 2 приведены средние спектры внешнего шума в области частот 2-20 Гц автомобиля при скорости движения 100-120 км/ч. Ширина полосы анализа  $F = 1$  Гц. Максимальный уровень инфразвука имеет место на частоте 2 Гц и равен 94-97 дБ в зависимости от скорости движения. С повышением частоты он падает от частоты 6 Гц примерно 7 дБ на октаву, а при дальнейшем повышении остается практически без изменения, на частотах 10-12 Гц уровень инфразвука равен ~85 дБ.



**Рисунок 2. Спектры внешнего шума автомобиля:  
1- скорость движения 100км/ч; 2 – скорость движения 120км/ч**

На третьем этапе были сопоставлены спектры внешнего и внутреннего инфразвука в легковом автомобиле (рисунок 3). Разница в частотном диапазоне от 11 до 13 Гц между уровнем внутреннего и внешнего инфразвука составляет примерно 30 дБ (30 раз). Это свидетельствует о том, что механизм возникновения внутреннего и внешнего инфразвука в автомобиле различный.

Механизм возникновения внешнего инфразвука автомобиля в области частот 1,7-28 Гц можно объяснить пульсациями продольной компоненты скорости набегающего потока воздуха. Частота максимума пульсаций может в зависимости от точки измерения находиться в диапазоне частот от 1,7Гц до 18 Гц.

На четвертом этапе была предложена модель для расчета внешнего инфразвука автомобиля, где автомобиль представлен в виде стержня в набегающем потоке воздуха, длина и диаметр стержня соответственно равны длине и высоте салона автомобиля. При расчете лобовое сопротивление и скорость движения стержня соответствуют экспериментальным значениям для легкового автомобиля.

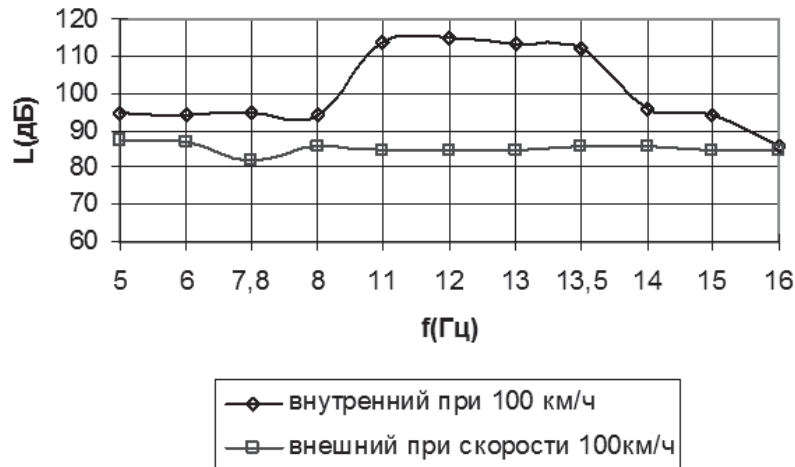


Рисунок 3. Спектр внешнего и внутреннего инфразвука в легковом автомобиле

Частота периодического срыва вихря определяется соотношением:

$$f = Sh \cdot V / D \quad (1)$$

где:  $f$  – частота срыва вихрей;

$V$  – скорость движения автомобиля;

$D$  – высота салона автомобиля;

$Sh$  – число Струхала.

Величина инфразвукового давления ( $P$ ) может быть посчитана по формуле:

$$P = \frac{\rho}{c^3} (C_x Sh)^2 V^6 l^2 \quad (2)$$

где:  $C_x$  – коэффициент лобового сопротивления автомобиля,

$l$  – длина автомобиля,

$c$  – скорость звука,

$\rho$  – плотность воздуха,

$V$  – скорость движения автомобиля.

Предложенная модель позволит на этапе проектирования спрогнозировать ожидаемый уровень внешнего инфразвука любого транспортного средства в зависимости от его геометрических размеров, скорости движения и коэффициента лобового сопротивления

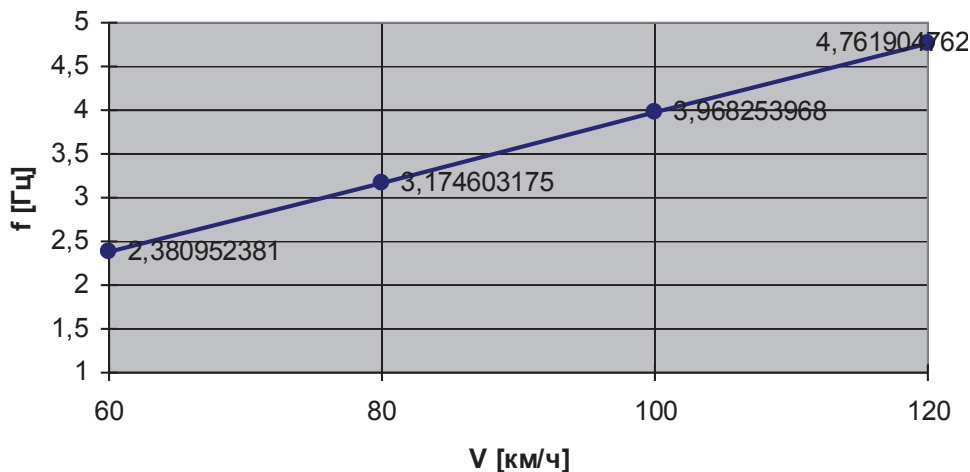


Рисунок 4. Частота вихревого шума легкового автомобиля

На рисунке 4 приведены результаты расчета частоты срыва вихрей при разных скоростях движения легкового автомобиля. Эти частоты в зависимости от скорости движения меняются от 2 до 5 Гц. Результаты расчета инфразвукового давления для легкового автомобиля на частоте срыва вихря показали, что в диапазоне скоростей от 60 до 120 км/ч его уровень меняется с 86 дБ до 95 дБ, что совпадает с экспериментальными измерениями внешнего инфразвука легкового автомобиля и транспортного потока (см. рис.1, 2, 3).

Таким образом, полученные экспериментальные и расчетные данные позволяют сделать вывод, что механизм возникновения инфразвука автомобиля обусловлен набегающим потоком воздуха. Предложенный подход может быть использован для прогнозирования и определения внешнего инфразвука других транспортных средств в дозвуковом диапазоне частот (скоростные поезда, катера на подводных крыльях и др.).

### Литература

1. Нюнин Б.Н., Графкина М.В. К вопросу исследования тонкой структуры инфразвукового и электромагнитного полей автомобиля // Известия МГТУ «МАМИ» №12, 2012.- С.180-184.
2. Графкина М.В., Нюнин Б.Н. Исследования электромагнитных и акустических полей автомобиля // Сборник статей 77-й международной научно-технической конференции ААИ, Секция 10. М.: МГТУ «МАМИ», 2012. с. 20-21.
3. Графкина М.В., Нюнин Б.Н., Свиридова Е.Ю., Теряева Е.П. Развитие системы экологического мониторинга электромагнитных и инфразвуковых низкочастотных полей на застроенных территориях [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: [www.unistroy.spb.ru](http://www.unistroy.spb.ru). (дата обращения: 11.09.2013)  
УДК 624.04:517.2

### ***Вибронагруженность крупногабаритной транспортной системы при движении по дороге со случайными неровностями***

д.т.н. проф. Гусев А.С., к.т.н. проф. Щербаков В.И., к.т.н. доц. Стародубцева С.А.,  
Гребенкина М.И.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Университет машиностроения,  
8(499)-223-05-23, доб. 14-57; [sopr@mami.ru](mailto:sopr@mami.ru)

*Аннотация.* Рассматривается комплекс вопросов, возникающих при оценке технической возможности и целесообразности транспортировки крупногабаритных и легкодеформируемых объектов по дорогам со случайными неровностями.

*Ключевые слова:* вибрация, транспортная система, деформации, напряжение, надежность.

Необходимость оценки вибронагруженности крупногабаритных транспортных систем возникает в случаях перевозки больших неразборных объектов по дорогам со случайными неровностями. Практика свидетельствует, что при транспортировке деформируемых объектов может происходить существенная потеря их работоспособности [1-4].

Рассмотрим транспортную систему, показанную на рисунке 1. Транспортируемый длинномерный легкодеформируемый объект 2 опирается на седельный тягач 1, колёсную тележку 3 и движется в горизонтальном направлении по длине пути  $x$  с постоянной скоростью  $v_T$ , совершая вертикальные линейные и угловые колебания в продольной плоскости симметрии системы, т.е. принимается плоская динамическая модель. Колебания в продольной плоскости возникают от микронеровностей дороги  $y(x)$  при предположении об одинаковом профиле левой и правой колеи дороги. Текущие значения микронеровностей под тягачем и тележкой обозначены через  $y_1(x)$  и  $y_2(x)$  соответственно, а кинематические воздействия на перевозимый объект -  $f_n(t)$  и  $f_k(t)$ .