

## Прогнозирование акустических показателей автомобильных шин. Техническое обеспечение экспериментальных исследований

# 08, август 2011

Жеглов Л. Ф.

УДК.629.4.032

МГТУ им. Н.Э.Баумана  
[tereza@bmstu.ru](mailto:tereza@bmstu.ru)

Допустимые уровни шума 74 дБ (А) для легковых и 80 дБ (А) для грузовых автомобилей, введенные в 1995 году, позволили считать, что проблема снижения шума от взаимодействия шины с дорожным покрытием (далее шум шины) является одной из первоочередных задач [1, 2]. Шум шин, наряду с достаточно либеральными ограничениями, малой представительностью дорожных условий в методах измерений, является причиной сравнительно низкой эффективности введения правил на внешний шум автомобилей. Это подтверждает комиссия ЕЭС, которая считает, что снижение шума легковых автомобилей за счет улучшения шумовых характеристик его агрегатов и систем ниже 70 дБ (А) практически невозможно [3]. Оптимального снижения шума, обусловленного автотранспортом, можно добиться, применяя соответствующие шины и дорожные покрытия. Эти два фактора оказывают наибольшее влияние на внешний шум автомобилей. Согласно прогнозу [4], при выполнении предложенных КВТ ЕЭК ООН дополнений к Правилам № 30 и № 54 (Директива 92/23/ЕЭС), относящихся к нормированию шума шин, в которых установлены допустимый уровень звука шин каждой категории и метод его определения, наиболее шумные шины должны быть заменены менее

шумные на 2 – 4 дБ (А). В силу важности данного вопроса после многолетних работ и дискуссий в 2005 году были приняты Правила №117 ЕЭК ООН «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения шин в отношении шума, производимого ими при качении». В связи с этим проблема разработки малошумных шин и контроля их акустических характеристик является чрезвычайно важной.

В качестве метода измерения шума шин Правилами №117 ЕЭК ООН определен метод наката. Измерения уровней звука, являющимися показателями акустического излучения шины катящегося колеса, осуществляются на испытательном участке, соответствующем требованиям ISO 10844 . Для шин класса С1 и С2 опорная скорость равна 80 км/ч, для шин класса С3- 70 км/ч. В данном случае опорная скорость – это скорость, к которой приводятся результаты измерений уровней звука на основе простой линейной регрессии. Адаптация измерительных процедур к характеристикам измерительного участка может быть достаточно простой, так как требования ISO 10844 относятся к испытательному участку при измерениях внешнего шума автомобиля в соответствии с ГОСТ Р 41.51 – 99 (Правила ЕЭК ООН № 51). Испытания, проводимые согласно нормативным документам, в данном случае представляют собой сертификационные процедуры. Что касается экспериментального определения акустических показателей автомобильных шин на стадии их проектирования, то наиболее целесообразно проводить такие измерения в лабораторных условиях на установке с беговыми барабанами.

С целью оценки адекватности такого метода прогнозирования акустических показателей автомобильных шин были проведены экспериментальные исследования по оценке звукового излучения при испытаниях шин в различных условиях:

- дорожные испытания; накат;
- дорожные испытания; специальные прицепы при постоянной скорости качения колеса;

- стендовые испытания; установка с беговыми барабанами при постоянной скорости качения колеса.

Все предлагаемые методы должны иметь определенное техническое оснащение. Первый метод требуют специально подготовленных автомобилей, для которых исключено влияние их типа, агрегатов и систем на определяемые акустические показатели. Так, например, проведенные исследования [5] показали, что изменение базы, используемого при испытаниях автомобиля может привести к искажению получаемых результатов измерений на 0,5...1,0 дБ (А). Это касается выделения шума одиночной шины, как исходных данных для ее проектирования, из общего шума четырех шин, используя рассматриваемый метод, не удастся. В этом случае используется дорога по ISO 10844.

Для второго метода необходимо разработать специальные установки [6, 7]. Используются два типа установок. На установках первого типа (передвижная акустическая камера) одиночное колесо с исследуемой шиной закрывается звукоизолирующим кожухом, внутренняя поверхность которого обрабатывается звукопоглощающим материалом. На установках второго типа одиночное колесо удаляется как можно дальше от автомобиля-буксировщика, чтобы наиболее полно удовлетворять акустические требования на условия измерений.

Установка первого типа (рис. 1), основным устройством которой является передвижная акустическая камера, создана на базе автомобильного прицепа по трехколесной схеме. Собственно акустическая камера представляет собой заглушенную камеру, корпус которой выполнен разъемным, что облегчает смену и перестановку испытываемых колес, установку и проведение измерений. Каркас корпуса изготовлен из стального профиля и облицован с внешней стороны оргалитом толщиной 8 мм. С внутренней стороны стенок установлена конструкция высотой 300 мм из звукопоглощающего материала толщиной 10...12 мм. Функционирование установки в соответствии с ее назначением обеспечивается рядом

вспомогательных устройств и систем. К этим устройствам и системам относятся: буксирное устройство; устройства регулирования положения акустической камеры относительно опорной поверхности и колеса с исследуемой шиной; система управления колесным шасси акустической камеры; измерительная система.



Рис. 1. Передвижная акустическая камера

Эффективность разработанных систем (рис. 2) звукоизоляции и звукопоглощения камеры определялась при экспериментальных исследованиях по показателям, характеризующих их акустические качества.

Оценка звукоизолирующих свойств камеры выполнялась методом прозвучивания. С этой целью объект исследования размещался на ровной твердой площадке вдали от объектов, отражающих звук. Внутри камеры устанавливался эталонный источник звука. Измерения внутреннего шума проводились микрофонами ненаправленного действия, которые закреплялись вблизи испытываемого ограждения. Прошедший звук измерялся направленным микрофоном в нескольких точках с

последующим усреднением результатов регистрации. Это позволило обеспечить требуемую точность экспериментов.



*a*



*б*

Рис. 2. Элементы систем звукоизоляции и звукопоглощения основания (*a*) и крышки (*б*) акустической камеры

При определении звукоизоляции панелей для измерения шума внутри камеры использовалась стойка с восьмью микрофонами. Микрофоны на стойке располагались так, чтобы получить картину распределения уровней звукового давления в продольной вертикальной плоскости внутреннего пространства камеры. Измерения проводились в двух параллельных плоскостях, расположенных на расстоянии 0,4 м от ее правой и левой боковых стенок. Источник звука размещался в геометрическом центре внутреннего объема камеры. Прошедший звук измерялся в 32 точках, координаты которых определялись по проекциям точек установки микрофонов на соответствующую ближайшую поверхность ограждения. Исследовалась звукоизоляция камеры при наличии между юбкой камеры и опорной поверхностью эксплуатационного зазора 35 мм и без него. Результаты испытаний представлены на рис. 3.

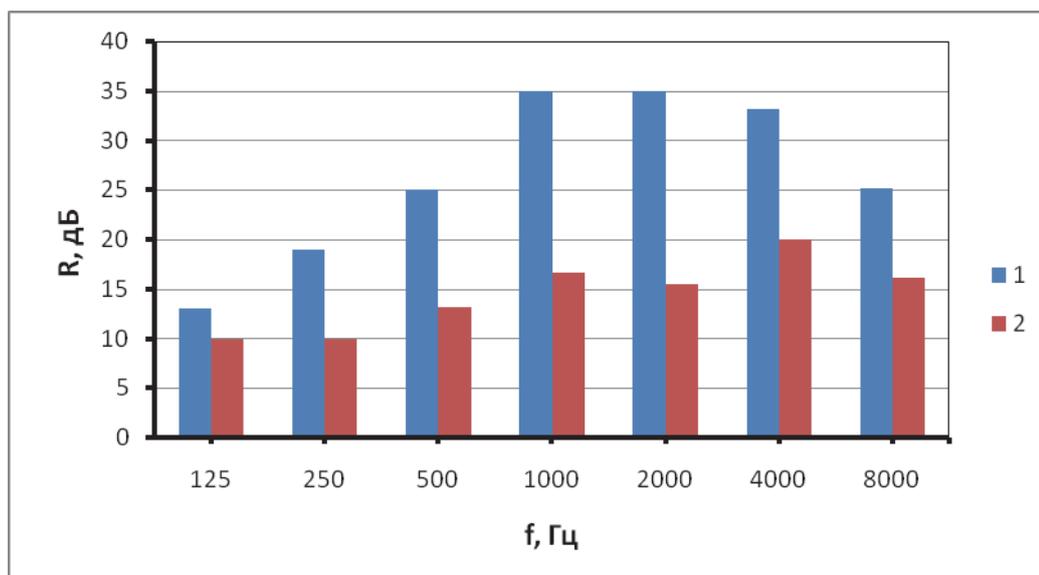


Рис. 3. Звукоизоляция акустической камеры с зазором (1) и без зазора (2)

Выполненная на стадии проектирования оценка снижения звукоизоляции при наличии зазора, согласно рекомендованным зависимостям [8], подтверждается результатами эксперимента (рис. 4). Использование легкого звукопоглощающего материала для облицовки внутренней поверхности камеры, позволило увеличить общую звукоизоляции камеры на 6...8 дБ, т.е. частично компенсировать потерю ее звукоизоляции, связанную с наличием зазора между юбкой камеры и дорожной поверхностью.

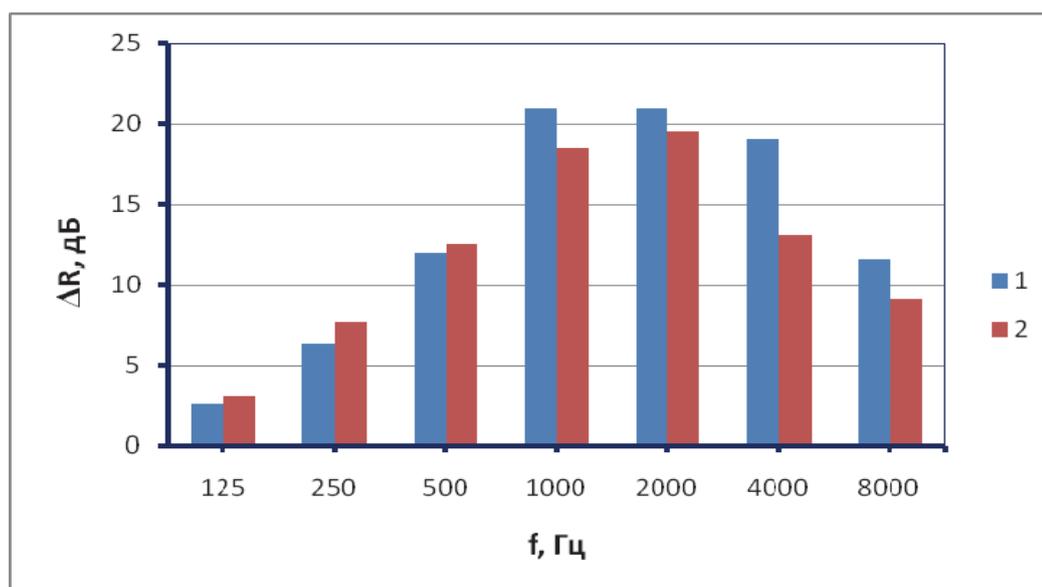


Рис. 4. Потеря звукоизоляция акустической камеры при зазоре 35 мм теоретическая (1) и экспериментальная (2)

Для исследования влияния фоновой составляющей на условия измерений во внутреннем объеме, камера вывешивалась так, чтобы обеспечить зазор 35 мм между юбкой и опорной поверхностью. Направленный источник шума устанавливался в двух положениях - на высоте 0,5 м и расстоянии 1,0 м от передней и боковой стенок снаружи камеры.

Регистрация уровней звукового давления с наружной (на расстоянии 30...50 мм) и внутренней стороны стенок дала возможность оценить влияние фоновой составляющей на акустические условия внутри камеры при эксплуатационном значении зазора (рис. 5). Следует отметить, что разность уровней звукового давления снаружи и внутри камеры не соответствует ее звукоизоляции.

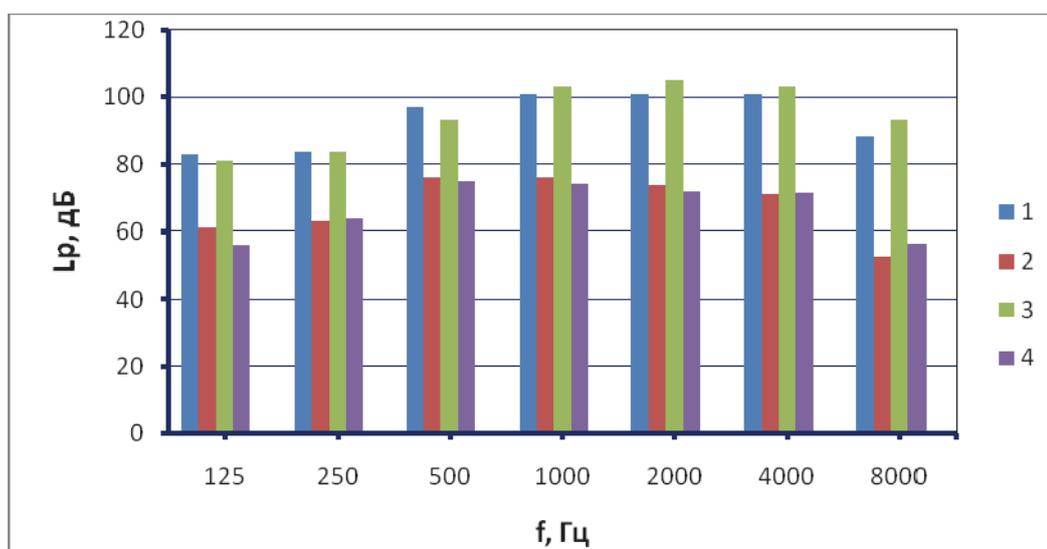


Рис. 5. Уровни звукового давления при акустической нагрузке на переднюю (1, 2) и боковую (3, 4) стенки снаружи (1, 3) и внутри (2, 4) камеры

Следующим условием возможности выполнения измерений звукового излучения, генерируемого шиной катящегося одиночного колеса, в данном случае является наличие свободного акустического поля в замкнутом пространстве камеры.

Известно, что звуковая энергия внутри замкнутого пространства складывается из энергий прямого и отраженного (диффузного) звука.

Снижение влияние диффузной составляющей на результаты измерений возможно при приближении точки измерения к источнику звука или при увеличении коэффициент звукопоглощения ограждающих поверхностей камеры. Так как расстояние от шины до точки измерения регламентируется условиями проведения испытаний, снижения величины диффузной составляющей отраженного звука достигалось обеспечением высокого значения коэффициента звукопоглощения во внутреннем пространстве камеры. С этой целью на внутренней поверхности панелей камеры была установлена конструкция из звукопоглощающего материала (см. рис. 2).

При выборе звукопоглощающего материала отдавалось предпочтение материалу, имеющему высокие значения коэффициента звукопоглощения в диапазоне частот 125...8000 Гц. Однако в рассматриваемом случае учитывалось также ограничение на массу звукопоглощающего материала, которая оказывает влияние на регулирование нормальной нагрузки на колесо. Исходя из этого, в качестве материала использовалось синтетическое теплошумоизолирующее полотно с поверхностной плотностью  $0.9 \text{ кг/м}^2$ . Оценка звукопоглощающих свойств выбранного материала выполнялась с помощью акустического интерферометра. Исследовались однослойные (толщиной 10...12 мм) и двухслойные (толщиной 20...24 мм) образцы без напыления и с напылением на торцевую поверхность от одного до четырех слоев нитрокраски.

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что выбранный материал может быть использован для разработки конструкции звукопоглощающего покрытия. Выполненная конструкция такого покрытия состоит из пяти слоев элементов различной конфигурации (цилиндры, пластины, полуконусы). Пространство внутри и снаружи цилиндров заполнено воздухом. На наружную поверхность покрытия нанесен один слой нитрокраски.

Звукопоглощающие свойства макетного образца камеры определялись реверберационным методом. Изменение уровня звукового давления во

времени регистрировалось 16 микрофонами при установке источника звука в геометрическом центре внутреннего объема камеры без зазора и с зазором 35 мм относительно опорной поверхности. Определение времени реверберации  $T$  проводилось в октавных полосах частот по усредненным во времени (3...5 переходных процессов) и в пространстве (16 микрофонов) реализациям. Частотная зависимость коэффициента звукопоглощения, рассчитанного по усредненным значениям времени реверберации, представлена на рис. 6.

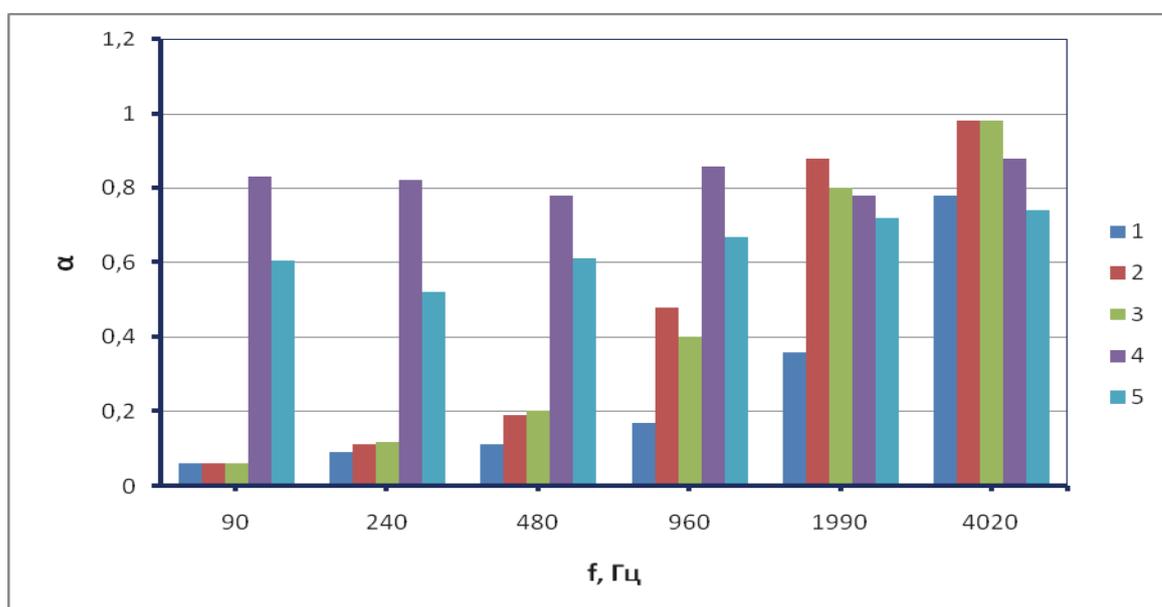


Рис. 6. Частотная зависимость коэффициента звукопоглощения материала и конструкции акустической камеры:

однослойный образец; 2, 3 – двухслойный образец без напыления и с напылением нитрокраски в один слой соответственно; 4, 5 – камера без зазора и с зазоров 35 мм соответственно

Следует отметить, что измерение времени реверберации представляет сложную задачу, особенно когда объем помещения мал, звукопоглощение высокое [9]. Это связано с тем, что используемая аппаратура обладает собственным временем "реверберации" (последствия), которое при измерениях малых величин  $T$  может привести к существенной погрешности. Поэтому, дополнительно, для оценки достоверности полученных значений

коэффициента звукопоглощения и возможности считать акустическое поле внутри камеры свободным, проводилось аналогичные испытания при расположении источника шума в правом нижнем углу камеры. Это дало возможность измерять уровни звукового давления на расстояниях в пределах 0,35...1,6 м. На рис. 7 показано снижение уровней звукового давления в октавных полосах частот в зависимости от расстояния между источником звука и микрофоном.

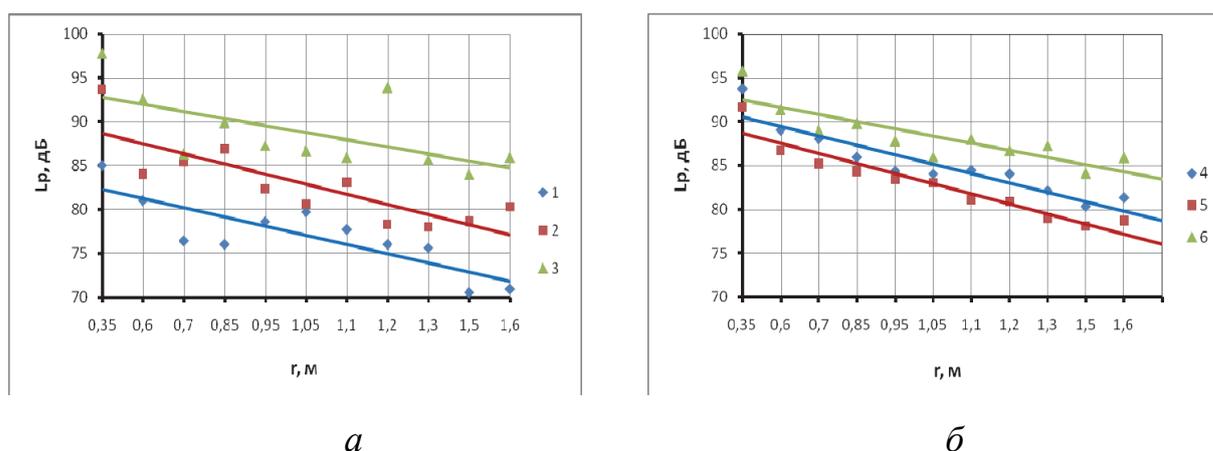


Рис. 7. Зависимость изменения уровня звукового давления от расстояния между источником звука и микрофоном в октавных полосах частот: *а* – 1-125 Гц, 2 - 250 Гц, 3 - 500Гц; *б* – 4 - 1000 Гц, 5 – 2000 Гц, 6 - 4000 Гц

Необходимо принять во внимание также, что источник (источники) шума шин расположен в зоне контакта последней с опорной поверхностью, т.е. в центре эквивалентной полусферы, а измерения проводятся на расстояниях 0,2...0,3 м от источника звука. Для этих случаев расчетные значения диффузной составляющей для положений камеры без зазора и с зазором 35 мм равны 0,08...0,17 дБ и 0,21...0,46 дБ соответственно, т.е. звуковое поле внутри камеры при измерениях можно считать свободным.

Таким образом, результаты экспериментальной оценки звукоизоляции, влияния фоновой составляющей и коэффициента звукопоглощения дают возможность рекомендовать созданную акустическую камеру для измерения шума шин в реальных условиях эксплуатации.

Установка второго типа, универсальный одноосный прицеп (рис. 8), может быть использована, как и в первом случае, для испытаний шин в дорожных и стендовых условиях. Основными устройствами и системами одноосного прицепа являются: несущая система; устройства установки автомобильного колеса, буксирования, блокирования устройства буксирования, регулирования положения шарнира, дополнительного нагружения автомобильного колеса, поперечной стабилизации; тормозная и измерительная системы.

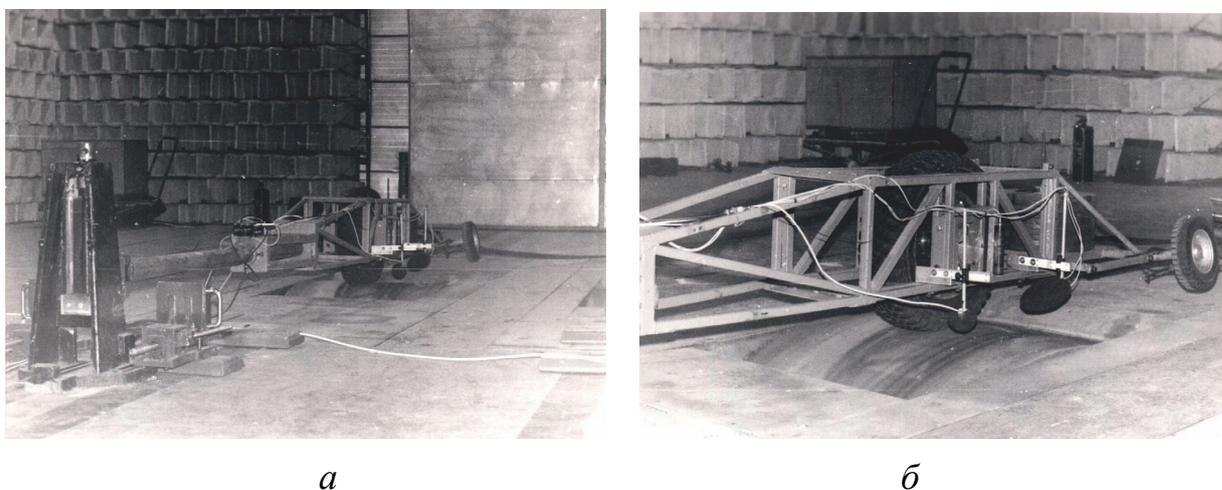


Рис. 8. Универсальный одноосный прицеп: *а, б* – системы установки в заглушенной камере и измерительных микрофонов

Конструкция прицепа выполнена разъемной и состоит из двух узлов, одним из которых является несущая система, а вторым - устройство буксирования. Несущая система прицепа изготовлена в виде фермы из стальных квадратных труб. Это позволяет обеспечить малую массу, высокие жесткость и прочность конструкции и практически не исказить акустическое излучение шины катящегося колеса. Наряду с задачами обеспечения оптимального качения колеса при испытаниях, устройство буксирования определяет отклонение характеристики звукового поля в измерительных точках. Блокирование поворота устройства буксирования вокруг его продольной оси обеспечивает его жесткую связь с рамой прицепа.

Фрикционная муфта, входящая в состав устройства блокирования, дает возможность фиксировать заданное положение устройства буксирования относительно рамы. Момент трения фрикционной муфты подбирается таким образом, чтобы не допустить скручивания дышла. Регулирование положения шарнира осуществляется посредством кронштейна, на котором закреплены ответные части шарнира, что необходимо для изменения его положения относительно опорной поверхности. Кронштейн устанавливается на стойке или автомобиле-буксировщике и должен допускать возможность регулирования своего положения в вертикальном направлении в пределах от -50 до +50 мм. Устройство поперечной стабилизации прицепа выполнено в виде балансира, имеющего ось с двумя опорными колесами, которая изменяет свое положение относительно опорной поверхности в соответствии с функциональным назначением устройства. При проведении испытаний колеса балансира вывешены относительно опорной поверхности и вступают в работу при поперечных угловых перемещениях автомобиля-буксировщика более 5 градусов. При иных условиях эксплуатации прицепа (монтажные работы, транспортирование и т.д.) колеса балансира находятся в постоянном контакте с опорной поверхностью, обеспечивая устойчивое состояние прицепа. Тормозная система предназначена для блокирования свободно вращающихся колес балансира при отсутствии их контакта с опорной поверхностью, что позволяет снизить фоновый шум при измерениях. В предлагаемом варианте системы на оси балансира установлены барабанные фрикционные элементы. Созданное универсальное устройство прошло тестовые испытания и использовалось при измерении шума шин в дорожных и стендовых условиях. При этом требуемая акустическая обстановка (свободное звуковое поле) при испытаниях на динамометрической дороге полигона обеспечивалась также отводом системы выпуска отработавших газов двигателя и установкой на задние колеса автомобиля-буксировщика акустических экранов. Лабораторные испытания проводились в данном случае на барабанном стенде с безопасным покрытием, установленном в

заглушенной акустической камере с отражающим полом. На рис. 9 приведены результаты тестирования установки.

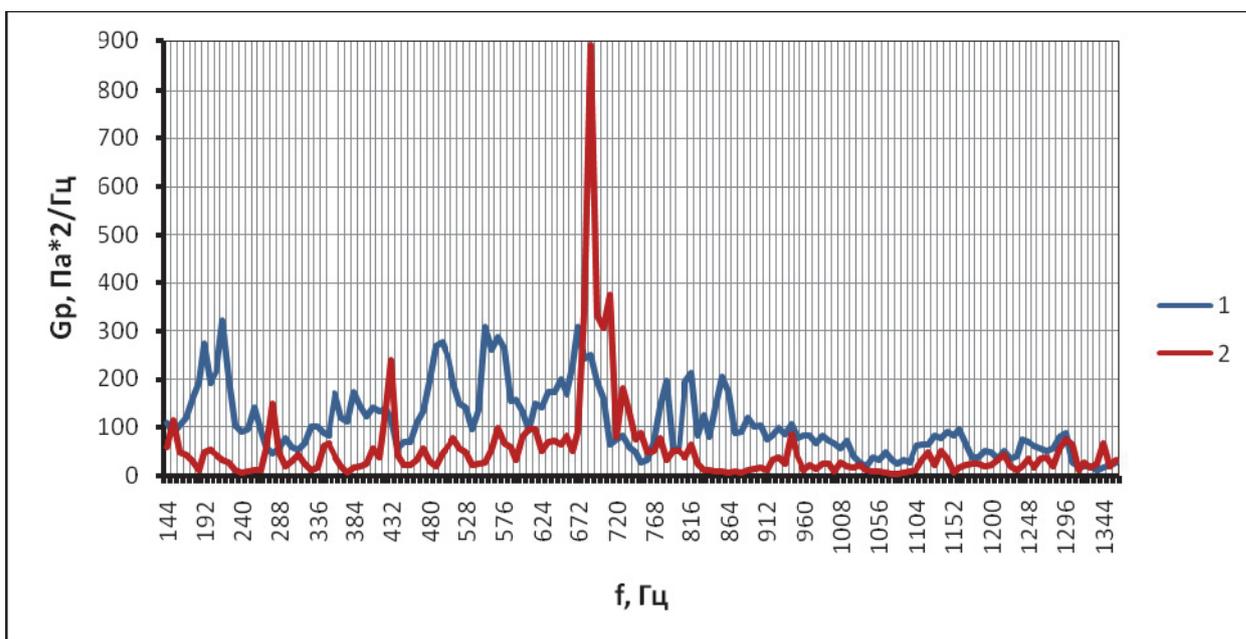


Рис. 9. Спектральная плотность звукового давления, генерируемого шиной катящегося колеса со скоростью 70 км/ч: 1 – динамометрическая дорога; 2 – барабанный стенд

При применении третьего метода [10, 11], основной задачей является обеспечение необходимых акустических условий проведения измерений. Эти условия могут быть выполнены двумя способами: установкой стенда с беговыми барабанами в акустической камере или аппаратными средствами снижения уровня помех в полезном сигнале. В случае использования второго способа возможны погрешности измерений, связанные с характеристиками помещения, местом нахождения точки измерений и принципа обработки измеренного акустического сигнала. Установка такого типа была разработана на основе базовой конструкции стенда ИПС-1 (рис. 10).



*а*



*б*

Рис. 10. Стенд для измерения шума шин: а – звукопоглощающие и звукоотражающие конструкции; б - барабан со специальным покрытием и элементы измерительной системы

С целью обеспечения соответствующих требований при измерении шума шин созданы специальное покрытие барабана, отражающая плоскость и улучшены общие акустические условия стендового зала. Выполненное специальное покрытие имитирует гладкую асфальтовую дорожную поверхность. Отражающая плоскость представляет собой преграду, создающую акустические условия излучения звука шиной при качении колеса в реальных условиях движения автомобиля. Отражающая поверхность служит также акустическим экраном, позволяющим снизить шум помех в точке измерения шума шин. Улучшение общих акустических условий стендового зала обеспечено капсулированием основных источников шума стенда и использованием звукопоглощающих конструкций. В подготовленном таким образом стендовом зале были проведены тестовые испытания. Задачами этих испытаний являлись определение акустических характеристик самого зала и возможности измерения на стенде шума шин. В первом случае осуществлялось прозвучивание помещения стендового зала. На рис. 11 показаны аппроксимация линейной зависимостью уровней

звукового давления от расстояния между источником звука и точкой установки микрофона.

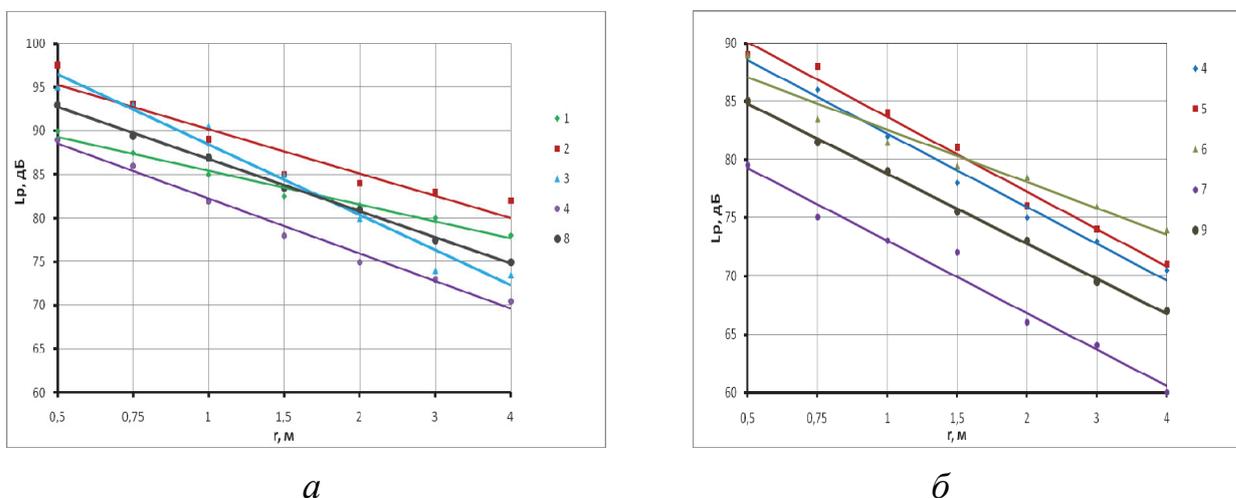
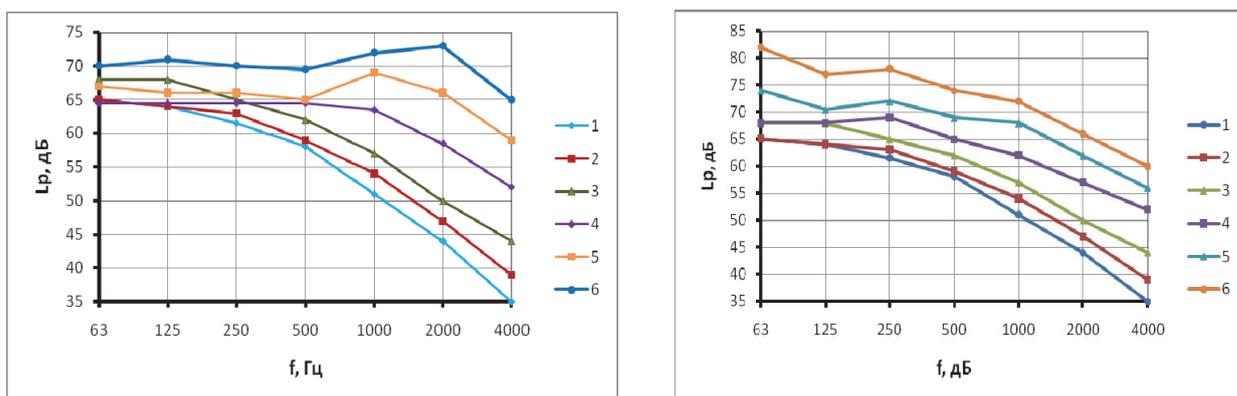


Рис. 11. Зависимость изменения уровня звукового давления от расстояния между источником звука и микрофоном в октавных полосах частот: *а* - 1 – 63 Гц, 2 – 125 Гц, 3 – 250 Гц, 4-500 Гц, 8 – 6 дБ/окт; *б* - 4 – 500 Гц, 5 – 1000 Гц, 6 – 2000 Гц, 6 – 4000 Гц; 9 – 6 дБ/окт

Следующим этапом тестирования явилось определение процедур измерения шума шин при работающем оборудовании (рис. 12). Полученные данные определяют частотный диапазон измерения шума шин в рассматриваемых условиях испытаний как 125...4000 Гц, что является достаточным для прогнозирования их акустических характеристик.



*a*

*б*

Рис. 12. Октавные спектры уровней звукового давления:

*a* – 1, 2, 3 – измерение шума шины, измерительное расстояние 3,1 м, скорость качения колеса 50 км/ч, 80 км/ч, 110 км/ч соответственно;

*б* – 1, 2, 3 – измерение шума шины, измерительное расстояние 0,2 м, скорость качения колеса 50 км/ч, 80 км/ч, 110 км/ч соответственно;

*a, б* - 4, 5, 6 – измерение шума стенда без установки шины, измерительное расстояние 3,1 м, скорость качения колеса 50 км/ч, 80 км/ч, 110 км/ч соответственно.

Одно из определяющих значений при измерении шума (оценка абсолютного значения уровня звука) шин независимо от применяемого метода имеет структура дорожной поверхности. Показано [1, 2], что как уровень шероховатости, так и ее частотный состав неоднозначно оказывают влияние на уровень шума шин. В зависимости от длины волны структуры дорожной поверхности наблюдается повышение или снижение шума шин при увеличении уровня шероховатости. Изменение качества зависимости в этом случае наблюдается на частоте близкой к 1000 Гц. Причем увеличение шума шин при уменьшении уровня шероховатости наблюдаются на частотах выше указанной. Для измерения характеристики шероховатости дорожной поверхности в настоящее время применяется метод песчаного пятна. Этот метод дает оценку только средней глубины шероховатости, что является недостаточным при спектральном анализе шума шин. В этом случае

предлагается использовать измерители шероховатости различной конструкции [1, 12].

Созданный приборный комплекс, основным устройством которого является измеритель шероховатости поверхности – профилометр (рис. 13), предназначен для определения спектральных характеристик поверхностей дорожных покрытий и специальных покрытий беговых барабанов, необходимых для анализа шума шин при экспериментальных исследованиях.

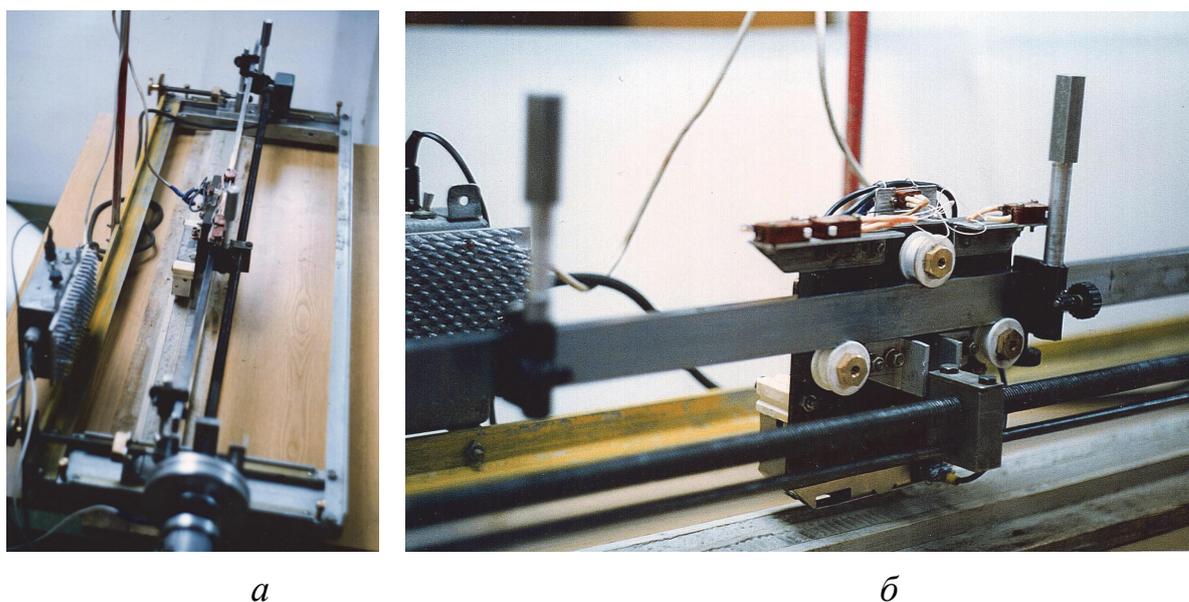


Рис. 13. Измеритель шероховатости дорожной и специальной поверхностей:  
*а* - модуль перемещения датчика; *б* – модуль датчика

Конструкция профилометра построена по модульному принципу и имеет три модуля. Модуль перемещения датчика состоит из электродвигателя постоянного тока, редуктора, винтовой пары с кареткой, движущейся линейно по направляющим, датчика перемещений каретки (отметчика пути). Скорость вращения вала двигателя задается через модуль автоматики перемещения датчика. Датчик перемещения каретки вырабатывает электрические импульсы, соответствующие текущей координате положения чувствительного элемента. Модуль перемещения датчика без изменения базовых точек установки прибора на опорной поверхности имеет возможность с помощью винтовой пары перемещаться в

поперечном направлении к линиям измерения на величину до 120 мм с минимальным шагом 0,5 мм. Модуль автоматики поддерживает заданные скорости перемещения каретки датчика в прямом и обратном ускоренном режиме ее движения и обеспечивает на последнем режиме подъем чувствительного элемента датчика. Модуль датчика состоит из фотоэлектрического преобразователя, чувствительного элемента и устройства его подъема. Фотоэлектрический преобразователь вырабатывает электрический потенциал пропорциональный вертикальным перемещениям чувствительного элемента.

Определение характеристик измерительного блока как измерительного инструмента профилометра проводилось на вибростоле. Комплект аппаратуры включал: датчик виброускорений, интегрирующий усилитель заряда, блок питания, вибростол, стрелочный индикатор перемещений, усилитель мощности, генератор сигналов, анализатор сигналов. Определялись следующие характеристики измерительного блока: диапазон измеряемых вертикальных перемещений; частотный диапазон измерений; нелинейность преобразования перемещение-напряжение; чувствительность.

Чувствительность, нелинейность преобразования перемещение – напряжение, диапазон измеряемых перемещений определялись при статических испытаниях. В таких измерениях монтажная поверхность вибростола перемещалась в пределах возможных перемещений щупа измерительного блока с шагом равным 1 мм и точностью 0,002 мм, соответствующей точности стрелочного индикатора.

При динамических испытаниях анализировались амплитудно-частотные характеристики и функция когерентности при входном сигнале - сигнале с датчика виброускорений монтажной поверхности вибростола и выходном сигнале - сигнале с измерительного блока. Измерения проводились при входном сигнале в виде белого шума для частотного диапазона 2 – 100 Гц. По функции когерентности определялась максимальная виброскорость щупа измерительного блока, соответствующая его

безотрывным перемещениям. При постоянной максимальной виброскорости 0,2 м/с, которую имеет щуп при амплитуде 18 мм и частоте 1,8 Гц перемещений, в том же частотном диапазоне по определенной функции когерентности уточнялся частотный диапазон работы измерительного блока. На частоте 5 Гц при амплитуде 15 мм оценивалась нелинейность преобразования измерительного блока перемещение - напряжение и вычислялись коэффициенты регрессионной зависимости для его калибровки. Полученные данные показывают, что чувствительный элемент измерительного блока имеет гарантированное безотрывное скольжение по опорной поверхности при частоте возмущения в интервале 0 – 25 Гц и динамический диапазон измерения вертикальных перемещений 50 дБ относительно 20 мкм. При этом максимальная скорость продольного перемещения измерительного блока равна 0,04 м/с. Регрессионная модель калибровочной зависимости перемещения  $h$  чувствительного элемента от напряжения  $U$  с измерительного блока имеет вид

$$h = 8,92 - 4,39U - 0,59U^2 - 0,23U^3$$

и учитывается при обработке результатов измерений (рис. 14)

Таким образом, создан инструментальный комплекс для экспериментальной оценки акустических характеристик автомобильных шин.

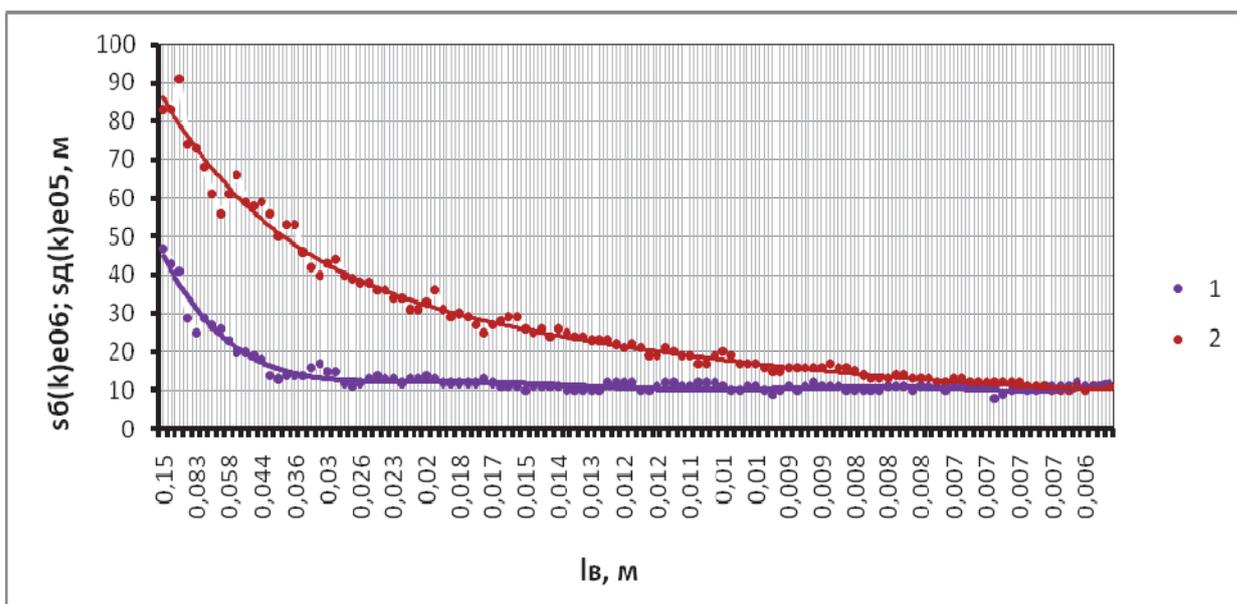


Рис. 14. Зависимость среднего квадратического отклонения высоты шероховатости поверхности бегового барабана (1) и динамометрической дороги (2) от ее длины волны

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Sandberg U. Tyre/Road Noise – Studies of the Mechanisms of Noise Generation, Methods of Measurement and Road Surface Characterization. Dissertation. No.166. Linkoping University. Linkoping. Sweden. 1987.
2. Римонди Дж. Роль шин в создании шумов автомобиля// 2-я Международная конференция АТА "Комфортабельность автомобиля". Болонья. Италия. 1995. С. 957-975. (Перевод ОНТИ АО "АВТОВАЗ", 1995. 25 с.)
3. Verkehrslarm: Leise Reifen und Flusterasphalt müssen her// Neue Reifenzeitung №11. Munchen. Deutschland. 1997. S.64.
4. Kragh J., Sandberg U. Noise Emission from Road Vehicles 1990-2010. The Development Expected by a Group of Nordic Experts// VTI sartryck Nr. 219. Linkoping. Sweden. 1994. 6 p.
5. Study Report on Test Conditions for Tyre/Road Noise/ 28 th session GRB.- Informal document No.4. 1998. 15p.

6. Sandberg U., Ejsmont J.A. The Art of Measuring Noise from Vehicle Tires// SAE Technical Paper Series 931275. Michigan. USA. 1993. P.93-111.

7. Жеглов Л.Ф. Комплекс средств для экспериментального определения акустических показателей шин легковых автомобилей// Восьмой симпозиум "Проблемы шин и резинокордных композитов. Дорога, шина, автомобиль". Том 1. Москва. НИИ шинной промышленности. 1997. С. 171-177.

8. Колесников А.Е. Шум и вибрация. Л.: Судостроение, 1988. 158 с.

9. Ширжецкий Х.А., Малкович М.З. Применение испытательных сигналов при исследовании импульсных характеристик с системами озвучивания// Защита от шума в зданиях и на территории застройки: сб.тр.НИИ строит.физики: под ред. Е.Я.Юдина. М. 1987. С 127-132.

10. Buschmann J. Pass-by Noise Measurement with a Noise-Isolated Car// Tire Science and Technology. TSTCA. Vol.24. No.1. 1996. P.2-10.

11. Жеглов Л.Ф., Комкин А.И., Сухоруков В.А. Стенд как средство оценки шума автомобильных шин// Автомобильная промышленность № 5. М.: Машиностроение, 1997. С. 29-32.

12. Жеглов Л.Ф. Измерение спектральных характеристик дорожной поверхности// Измерительная техника № 10. М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2005. С. 45-47.