

На правах рукописи



Краснов Александр Валентинович

**РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
АКУСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ
ВНЕШНЕГО И ВНУТРЕННЕГО ШУМА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

Специальность 01.04.06 – Акустика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тольятти - 2009

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Гольягтинский государственный университет» на кафедре «Управление промышленной и экологической безопасностью» и в научно-техническом центре ОАО «АВТОВАЗ».

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Фесина Михаил Ильич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент
Крючков Александр Николаевич

кандидат технических наук, доцент
Галевко Владимир Владимирович

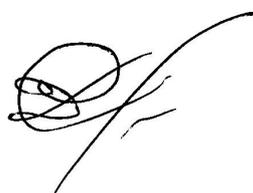
Ведущая организация: ФГУП Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ»

Защита состоится « 5 » марта 2010 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.215.02 при государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева» по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева».

Автореферат разослан « 4 » февраля 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.215.02,
доктор технических наук, профессор



Д.Л. Скуратов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Легковые автомобили являются самым массовым шумогенерирующим видом транспорта, их количество исчисляется сотнями миллионов и ежегодно пополняется. В связи с этим одной из важнейших задач при разработке конструкций легковых автомобилей является достижение высокого акустического комфорта в их пассажирских помещениях и обеспечение низких уровней генерируемого ими внешнего шума. Решение данной задачи актуализируется требованиями Российских и международных стандартов (ГОСТ Р 51616-2000, ГОСТ Р 41.51-2004, ГОСТ Р 52231-2004, правила ЕЭК ООН R51-02, R59, R117), регламентирующих уровни внутреннего и внешнего шума автотранспортных средств, а также необходимостью повышения их потребительских и конкурентоспособных качеств.

Весомую роль в формировании уровней внешнего и внутреннего шума легковых автомобилей играют их шумопоглощающие комплекты, представляющие собой набор шумопоглощающих, шумоизолирующих и вибродемпфирующих деталей (обивок, панелей, прокладок, заглушек, уплотнителей), монтируемых в различных пространственных зонах кузова и входящих в состав наиболее шумоактивных агрегатов и систем автомобиля. Вес шумопоглощающих комплектов современных моделей легковых автомобилей составляет 30...60 кг, что с учетом ежегодных программ их производства (утилизации) свидетельствует об огромных материальных и финансовых затратах, которые сопровождаются негативными экологическими последствиями для окружающей среды. Таким образом, весьма востребованными и актуальными представляются разработки высокоэффективных шумопоглощающих комплектов, обладающих повышенной акустической эффективностью при уменьшенной массе и стоимости, оказывающих пониженное негативное воздействие на окружающую среду в процессах добычи и переработки исходного сырья, производства деталей, эксплуатации и утилизации автомобилей в конце их жизненного цикла.

Цель работы. Улучшение акустических характеристик легковых автомобилей путем разработки модифицированных структур акустических материалов и конструкций, обладающих повышенной шумопоглощающей эффективностью, улучшенными весо-габаритными, стоимостными и экологическими показателями.

Задачи исследования.

1. Совершенствование технологических процедур экспериментальных и расчетно-экспериментальных исследований виброакустических характеристик шумопоглощающих комплектов легковых автомобилей, базирующихся на применении акустических материалов.

2. Исследование технических характеристик акустических материалов, используемых в составе конструкций деталей, агрегатов и систем легковых автомобилей, классификация их структурных составов и ранжирование шумопоглощающих качеств.

3. Разработка методик термоакустического совершенствования месторасположения и геометрической формы деталей шумопоглощающих комплектов легковых автомобилей на поверхностях панелей кузова с учетом повышения их шумопоглощающих свойств.

4. Разработка модифицированных структур акустических материалов и конструкций, обладающих улучшенными шумопоглощающими, весо-габаритными, стоимостными, технологическими и экологическими характеристиками.

5. Определение значений основных технических параметров акустических материалов и полномасштабных деталей шумопоглощающего комплекта, обеспечивающих эффективное подавление ими шумовых излучений в различных пространственных зонах кузова легкового автомобиля.

Объект исследования. Процессы генерирования, распространения и рассеивания виброакустической энергии в структурах материалов шумопоглощающих конструкций агрегатов и систем автомобилей.

Методы исследования. Для решения поставленных задач применялись методы экспериментальных исследований и методы расчетно-экспериментального имитационного моделирования. Исследования проводились с использованием стендовых акустических комплексов и лабораторно-стендовых установок, специализированных пакетов программ, систем возбуждения, измерения и анализа параметров виброакустических процессов.

Научная новизна работы.

1. Разработана уточненная классификация и определены признаки категориального ранжирования шумопоглощающих качеств звукопоглощающих, звукоизолирующих и вибродемпфирующих материалов, используемых в составе конструкций деталей, агрегатов и систем легковых автомобилей.

2. Разработаны методики совершенствования конструкций деталей шумопоглощающих комплектов легковых автомобилей, основанные на использовании акустических и температурных топологических карт панелей кузова и обеспечивающие наиболее эффективное их применение по структуре, месторасположению, геометрической форме с учетом эксплуатационного температурного и частотного диапазона.

3. Разработаны модифицированные структуры акустических материалов и конструкций с определенными эффективными соотношениями параметров структурирования, обладающие улучшенными шумопоглощающими, весо-габаритными, стоимостными, технологическими и экологическими характеристиками.

Практическая ценность. Разработаны конструктивно-технологические мероприятия по демпфированию структурного шумового излучения панелей кузова и устранению доминирующих путей воздушной передачи звуковой энергии в пассажирское помещение из зашумленных пространств легковых автомобилей (моторного отсека, багажного отделения, подднищевой зоны кузова), усовершенствованы конструкции шумопоглощающих экранов элементов двигателей внутреннего сгорания (ДВС), модулей системы охлаждения ДВС, направляющих и регулирующих элементов модулей отопительно-вентиляционных систем (ОВС), модифицированы структуры акустических материалов (звукопоглощающих, звукоизолирующих, вибродемпфирующих).

Реализация работы. Усовершенствованные методы экспериментальных и расчетно-экспериментальных исследований внедрены в технологический процесс виброакустической доводки легковых автомобилей в научно-техническом центре ОАО «АВТОВАЗ». Разработанные шумопоглощающие мероприятия внедрены в массовом производстве автомобилей ВАЗ семейств ВАЗ-1118 «Калина» и ВАЗ-2170 «Приора». Модифицированные структуры акустических материалов приняты к внедрению в производство на ЗАО НПП «Тэксникал Консалтинг». Результаты диссертации используются в учебном процессе автомеханического института Тольяттинского государственного университета.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 46 работ, в том числе 13 в изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией, 8 патентов на изобретения и 5 патентов на полезные модели.

Апробация работы. Материалы диссертации в различное время рассматривались и обсуждались на Российских и международных научных и научно-технических конференциях: «Безопасность. Технологии. Управление» (ТГУ, г. Тольятти, 2005, 2007 и 2009 гг.), «Туполевские чтения» (КГТУ им. А.Н. Туполева, г. Казань, 2005, 2007 гг.), «Проблемы и перспективы развития двигателестроения» (СГАУ им. С.П. Королева, г. Самара, 2006 г.), «Проектирование колёсных машин» (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, 2006, 2008 гг.), Ассоциации автомобильных инженеров «Автомобиль и окружающая среда» (НИЦИАМТ, г. Дмитров, 2007, 2009 гг.), «Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях» (НТТМ, г. Москва, 2006, 2007 и 2008 гг.), «Перспективные задачи АВТОВАЗа: новационные решения молодых» (ОАО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, 2006 г.), XX сессии Российского акустического общества (г. Москва, 2008 г.).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа содержит 159 страниц основного текста, 67 рисунков, 4 таблицы и 19 приложений, список использованных источников содержит 264 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель, определена практическая значимость полученных результатов.

В первой главе проведен анализ опубликованных работ в области исследования и снижения шума автотранспортных средств.

Вопросы разработки шумопоглощающих мероприятий для агрегатов и систем автомобилей рассмотрены в работах Алексеева И.В., Антонова С.В., Бочарова Н.Ф., Вайнштейна Л.Л., Галевко В.В., Галевко Ю.В., Гудцова В.Н., Гусакова Н.В., Зайцева П.В., Квасновской Н.П., Косых А.Н., Латышева Г.В., Ломакина В.В., Луканина В.Н., Нарбута А.Н., Носонова И.А., Ньюнина Б.Н., Резвякова Е.М., Соломатина Н.С., Старобинского Р.Н., Стержанова В.П., Тольского В.Е., Фесиной М.И., Alts T., Bloemhof H., Borgers W., Braune V., Chappuis A., Friundi F., Geib W., Gillard P.H., van Ligten R.H., Stricker K., Thome J-Ph., Tschudi H.R., Wentzel R.E., Weibel O. и др.

Решению вопросов исследований и разработки структур акустических материалов и шумопоглощающих конструкций посвящены научные публикации отечественных и зарубежных ученых: Бобровницкого Ю.И., Боголепова И.И., Борисова Л.А., Заборова В.И., Иванова Н.И., Ионова А.В., Ключкина И.И., Колесникова А.Е., Лагунова Л.Ф., Могилевского М.И., Мунина А.Г., Никифорова А.С., Осипова Г.Л., Разумовского М.А., Сергеева М.В., Тартаковского Б.Д., Юдина Е.Я., Veranek L.L., Crocker M.J., Cremer L., Heckl M., Ingard U., Kerwin E.M., Maekawa Z., Mechel F., Müller H.A., Nashif A.D., Oberst H., Ross D., Ungar E.E. и др.

Анализ опубликованных работ свидетельствует об актуальной и в это же время недостаточно изученной научной проблеме исследований и разработки технических средств повышения эффективности автомобильных шумопоглощающих комплектов, базирующихся на применении шумопоглощающих, шумоизолирующих и вибродемпфирующих деталей. В научных публикациях практически

отсутствует комплексный подход к процессам разработки эффективных шумопоглощающих комплектов автотранспортных средств, учитывающий не только акустические, но и их весо-габаритные и стоимостные параметры, технологические свойства и экологические характеристики.

Во второй главе представлены усовершенствованные технологические процедуры экспериментальных и расчетно-экспериментальных исследований виброакустических характеристик легковых автомобилей, их шумоактивных узлов и систем, образцов акустических материалов и деталей шумопоглощающих комплектов. Усовершенствованы методы экспериментальных аэроакустических исследований легкового автомобиля с идентификацией путей воздушной передачи звуковой энергии в пассажирское помещение автомобиля из зашумленных пространств (моторного отсека, багажного отделения, подднищевой зоны кузова). Предложены методы акустических и температурных топологических исследований панелей кузова с использованием комплекса сообщающихся акустических камер (излучающей – реверберационной и приемной – заглушенной безэховой), оснащенного аппаратно-программным пакетом «STSF», и полномасштабной аэроклиматической трубы, оборудованной динамометрическим стендом с беговыми барабанами.

Шумопоглощающая эффективность различных вариантов модификации конструктивных элементов модулей отопительно-вентиляционных систем (ОВС) и модулей систем охлаждения двигателей внутреннего сгорания (ДВС) легковых автомобилей оценивалась как при их автономных исследованиях в условиях безэховой акустической камеры, так и в составе автомобиля - при проведении стендовых и дорожных испытаний. Виброакустические характеристики образцов акустических материалов и полномасштабных деталей шумопоглощающих комплектов исследовались с использованием усовершенствованных экспериментальных и расчетно-экспериментальных методов, базирующихся на применении комплекса лабораторно-стендовых установок микроакустики («Башня Пиза», «Кабина Альфа», «Оберст», «RTC-3»). Оценка влияния параметров структурирования (перфорирования составных слоев вибродемпфирующих материалов) на процессы изменения динамических деформаций композитных структур, содержащих в своем составе вибродемпфирующие покрытия, производилась расчетным моделированием с использованием пакетов программ «MSC.Partran» и «MSC.Nastran».

Применение усовершенствованных технологических процедур исследований виброакустических процессов, протекающих в агрегатах и системах легковых автомобилей, обеспечило как отдельную, так и комплексную оценку путей передачи звуковой энергии, с учетом эффектов ее гашения или усиления при распространении. Также обеспечивалась комплексная имитация заданных скоростных и нагрузочных режимов движения автомобиля, скоростей набегающего воздушного потока и внешних климатических воздействий (теплового излучения от поверхности дороги, температуры и влажности воздуха, солнечной радиации). При исследовании структур акустических материалов и деталей, расширены технические возможности определения их виброакустических характеристик путем модификации конструкций используемых лабораторно-стендовых установок, процессов измерения и анализа.

В третьей главе представлены результаты исследований виброакустических характеристик шумопоглощающих комплектов, используемых на современных моделях легковых автомобилей отечественного и зарубежного производства. Произведен анализ применяемых структурных составов деталей шумопоглощающих

комплектов и разработаны их уточненные классификационные и структурные схемы. Выполнена оценка шумопоглощающих свойств 75 марок звукопоглощающих, 140 марок звукоизолирующих и 245 марок вибродемпфирующих автомобильных материалов отечественного и зарубежного производства (рис. 1-3).

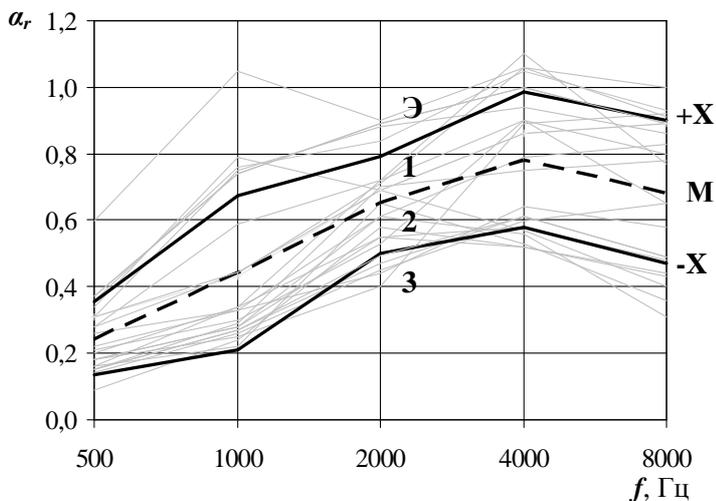


Рис. 1. Реверберационный коэффициент звукопоглощения α_r образцов плосколистовых звукопоглощающих материалов, содержащих облицовочный слой

Показатель α_r определен в малой реверберационной камере «Кабина Альфа».

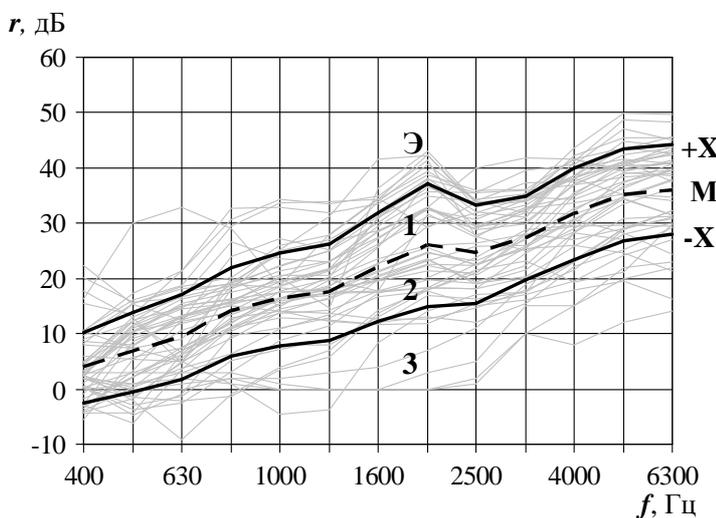


Рис. 2. Способность к звукоизоляции r плосколистовых образцов двухслойных звукоизолирующих материалов (в составе пористого звукопоглощающего и плотного звукоотражающего слоев)

Показатель r определен на лабораторно-стендовой установке «Башня Пиза».

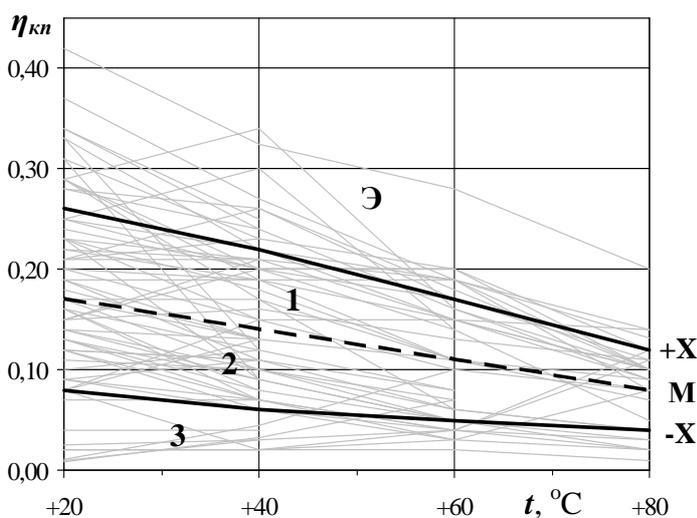


Рис. 3. Приведенный композитный коэффициент потерь η_{kn} образцов плосколистовых армированных вибродемпфирующих материалов

Показатель η_{kn} определен на лабораторно-стендовой установке «Оберст».

По результатам статистического анализа замеренных технических параметров (α_r , r , η_{kn}) проведено ранжирование акустических материалов по четырем категориям шумопоглощающей эффективности (Э, 1, 2, 3), которые разграничены значениями математического ожидания (М), нижней (-X) и верхней (+X) границ доверительного интервала. Исследованы акустические характеристики многофункциональных дета-

лей интерьера кузова, наделенных выраженной функцией звукопоглощения (обивок крыши, полка багажника, обивок моторного отсека, ковровых покрытий пассажирского помещения и багажного отделения). Определены значения основных технических параметров деталей шумопоглощающего комплекта, обеспечивающих их эффективное применение в конструкциях легковых автомобилей. Отмеченные значения технических параметров могут рассматриваться в качестве целевых при проектировании конструкций легковых автомобилей В и С классов.

В четвертой главе описаны разработанные методики совершенствования конструкций деталей шумопоглощающих комплектов легковых автомобилей. Предложено к применению уточненное аналитическое выражение (1) по оценке достигаемого эффекта снижения генерирования и передачи звуковой энергии в пространство пассажирского помещения автомобиля ($TL_{комп}$), при использовании различных вариантов модификации шумопоглощающего комплекта. Представленное выражение определяет акустический вклад различных конструктивно-технологических воздействий на объект исследований (детали, агрегаты и системы автомобиля) и позволяет вести количественную оценку суммарного шумопоглощающего эффекта от вводимых усовершенствований.

$$TL_{комп} = 10 \lg \left(\frac{S_{озп}}{\sum_{i=1}^n \tau_{шм(i)} S_{шм(i)}} \right) + 20 \lg \sum_{i=1}^n \left(\frac{\eta_{к(вд)}}{\eta_{к(нан)}} \right)_i + 10 \lg \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{дем}}{A_0} \right)_i - (\Delta TL_{о(нр)} + \Delta TL_{о(кос)}), \text{ дБ} \quad (1)$$

где $S_{озп}$ – суммарная площадь внутренних поверхностей ограждающих панелей пассажирского помещения, м²; $\tau_{шм(i)}$ и $S_{шм(i)}$ – соответственно, коэффициент звукопрозрачности и площадь (м²) внутренней поверхности i -ой ограждающей панели кузова, в составе с деталями шумопоглощающего комплекта и деталями интерьера не выполняющими акустических функций; $\eta_{к(нан)}$ и $\eta_{к(вд)}$ – соответственно, композитный коэффициент потерь i -ой ограждающей панели кузова, с демонтированным и с установленным на ее поверхности вибродемпфирующим покрытием; A_0 и $A_{дем}$ – соответственно, эквивалентная площадь звукопоглощения i -ой ограждающей панели кузова (со стороны пассажирского помещения) с демонтированной и с установленной шумопоглощающей деталью или многофункциональной деталью интерьера, обладающей выраженными звукопоглощающими свойствами, м²; $\Delta TL_{о(нр)}$ – величина потерь шумопоглощающего эффекта в пассажирском помещении, обусловленных наличием прямых путей воздушной передачи звуковой энергии (незакрытых технологических и/или открытых неиспользуемых функциональных отверстий панелей кузова, щелевых отверстий сварных или клеевых сопряжений элементов кузова, негерметичных уплотнительных узлов дверных проемов и проемов подвижных стекол боковых дверей, пустотелых коробчатых элементов силового каркаса кузова, воздухопроводных элементов ОВС, сообщающихся с пространством пассажирского помещения), дБ; $\Delta TL_{о(кос)}$ – величина потерь шумопоглощающего эффекта в пассажирском помещении, обусловленных наличием косвенных путей воздушной передачи звуковой энергии (незакрытых крупногабаритных отверстий в шумоизоли-

рующих обивках, в граничных зонах сопряжения торцевых поверхностей шумоизолирующих обивок и поверхностей деталей интерьера кузова, функциональных коммуникационных отверстий в панелях кузова, тонкостенных звукопрозрачных уплотнительных узлов), дБ.

Исследованы и выявлены доминирующие пути воздушной передачи шумового излучения в пространство пассажирского помещения. Для их ослабления предложено использование вспенивающихся термоакустических пробок, монтируемых в шумопередающих коробчатых элементах каркаса кузова (порогах, стойках, усилителях), и плосколистных шумоизолирующих заглушек, перекрывающих технологические и неиспользуемые функциональные отверстия панелей кузова. Определены эффективные значения удельного поверхностного веса ($\geq 7 \text{ кг/м}^2$) и толщины ($\geq 3,5 \text{ мм}$) материала плосколистных шумоизолирующих заглушек отверстий панелей кузова, обеспечивающих их звукоизолирующие свойства на уровне сплошной стальной панели. Разработаны методики совершенствования конструкций деталей шумопонижающих комплектов легковых автомобилей, основанные на использовании акустических и температурных топологических карт панелей кузова. На примере щитка передка кузова автомобиля ВАЗ-1118 «Калина», проведена локализация поверхностных зон, характеризующихся недостаточной звукоизоляционной способностью и/или склонных к резонансному структурному возбуждению (рис. 4). Расчетным моделированием звуковых полей оценены различные варианты гашения излучения звуковой энергии тремя доминирующими поверхностными зонами панели щитка передка кузова. По результатам исследований рекомендован усовершенствованный вариант конструкции шумоизолирующей обивки щитка передка, обеспечивающий дополнительный эффект снижения уровней звуковой мощности (до 4,4 дБ), излучаемой щитком передка кузова.

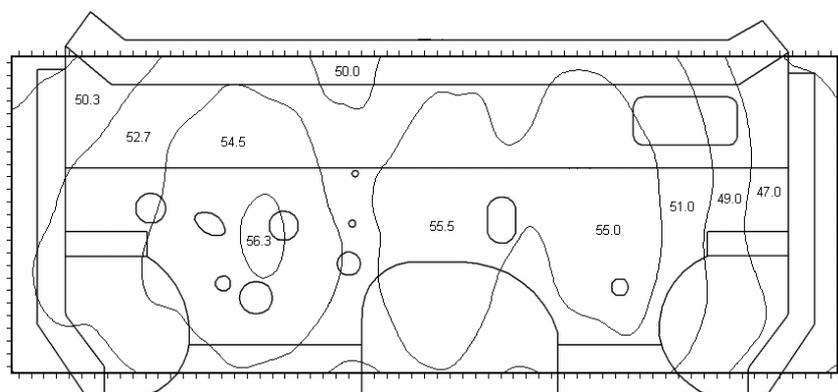


Рис. 4. Топологическая карта распределения уровней интенсивности звука, зарегистрированных в поверхностной зоне щитка передка кузова автомобиля ВАЗ-1118 «Калина» в диапазоне частот 700...6300 Гц

счетным моделированием звуковых полей оценены различные варианты гашения излучения звуковой энергии тремя доминирующими поверхностными зонами панели щитка передка кузова. По результатам исследований рекомендован усовершенствованный вариант конструкции шумоизолирующей обивки щитка передка, обеспечивающий дополнительный эффект снижения уровней звуковой мощности (до 4,4 дБ), излучаемой щитком передка кузова.

На базе результатов проведенных имитационных температурных исследований панелей кузова автомобилей семейств ВАЗ-1118 «Калина» и ВАЗ-2170 «Приора» с использованием полномасштабной аэроклиматической трубы, рекомендован усовершенствованный вариант топологической карты распределения температурно-адаптированных вибродемпфирующих покрытий по виброшумоактивным поверхностям панелей кузова легковых автомобилей (рис. 5). Обоснованы эффективные диапазоны значений технических параметров (η_{kn}, t) вибродемпфирующих материалов для отдельных панелей кузова легкового автомобиля с учетом энергетических вкладов их виброакустических и температурных полей.

Усовершенствованы концептуальные структуры интегральных шумопоглощающих элементов объемного типа для подавления шумового излучения от корпуса ДВС, электровентилятора модуля системы охлаждения ДВС, модуля ОВС. Структу-

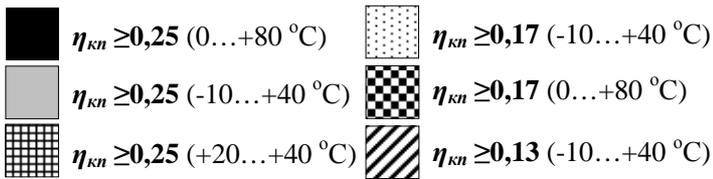
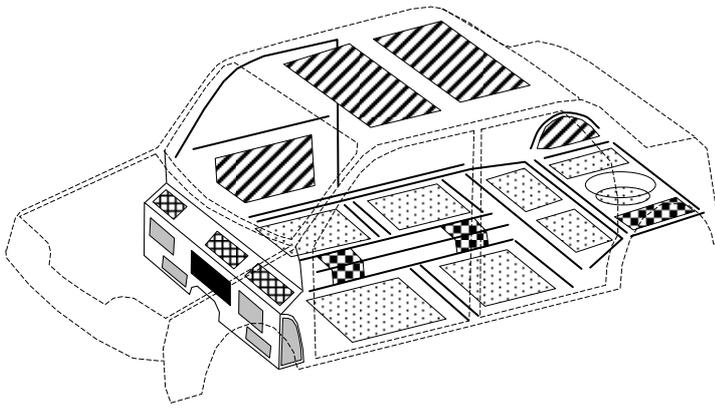


Рис. 5. Усовершенствованная топологическая температурная карта с установленными значениями показателя η_{kn} вибродемпфирующих прокладок, смонтированных на панелях кузова легкового автомобиля

площадь лицевой поверхности неперфорированного варианта несущего каркаса шумопоглощающих элементов, м². Для направляющих и регулирующих элементов модулей ОВС – $k_{nep(u)} \geq 0,1$, для экранных элементов ДВС и модулей системы охлаждения ДВС – $k_{nep(u)} \geq 0,2$.

В пятой главе представлено описание разработанных модифицированных структур акустических материалов и конструкций, обладающих улучшенными шумопонижающими, весо-габаритными, стоимостными и экологическими характеристиками.

Модификация звукопоглощающих материалов (рис. 6) выполнялась методами рационального перфорирования, введения разгрузочных компенсационных разрезов в лицевом защитно-декоративном слое, расчленения крупногабаритных шумопоглощающих панелей на обособленные малогабаритные фрагменты или сообщения панелям заданной геометрической формы (с увеличенным периметром внешнего контура). Указанные методы структурной модификации позволяют увеличивать звукопоглощающую эффективность плосколистовых шумопоглощающих панелей до 2 раз в диапазоне частот 500...8000 Гц (рис. 7). Использование тупикового перфорирования нижнего пористого звукопоглощающего слоя (рис. 8) в типичных двухслойных звукоизолирующих материалах (в составе с пористым звукопоглощающим и плотным звукоотражающим слоями) и двухслойных звукоизолирующих материалах «ультралайт» (в составе двух пористых слоев различной плотности), обеспечивает увеличение их звукоизоляционной эффективности до 12 дБ в диапазоне частот 400...6300 Гц (рис. 7).

Описанные приемы модификационного структурирования звукопоглощающих и звукоизолирующих материалов базируются на интенсификации процессов динамических деформаций и сопутствующих диссипативных рассеиваний энергии в их скелетных структурах, усилении краевого дифракционного механизма поглощения энергии звуковых волн, снижении динамической жесткости поверхностной структуры пористого слоя.

ры указанных шумопоглощающих элементов содержат в своем составе несущий перфорированный каркас, футерованный пористым звукопоглощающим материалом, облицованным гладким газонепроницаемым звукопрозрачным слоем. Для сообщения высоких шумопонижающих свойств образующих интегральных структур, определены эффективные диапазоны значений коэффициента перфорации их несущих каркасов:

$$k_{nep(u)} = \frac{S_{nep(u)}}{S_{кар(u)}} \quad (2)$$

где $S_{nep(u)}$, $S_{кар(u)}$ – соответственно, суммарная площадь поверхностей проекций отверстий перфорации на поверхность несущего каркаса и

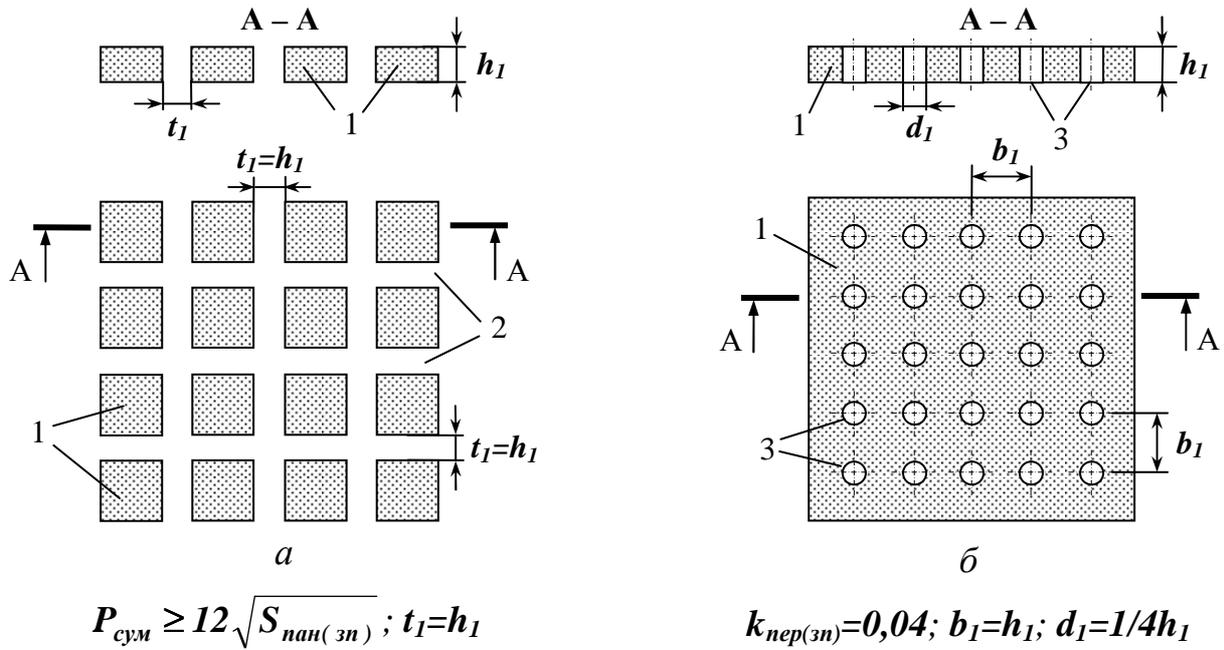


Рис. 6. Варианты структурирования звукопоглощающих материалов (а – расчленения на обособленные фрагменты, б – перфорирования пористого слоя)
 1 – пористый звукопоглощающий слой; 2 – воздушные зазоры между расчлененными фрагментами шумопоглощающей панели; 3 – отверстия перфорации

Наибольшие эффекты возрастания шумопонижающей эффективности модифицированных звукопоглощающих и звукоизолирующих материалов достигаются при определенных соотношениях параметров структурирования (см. рис. 6, 8): коэффициентов перфорации $k_{\text{неп(зн)}}$ и коэффициентов структурирования $k_{\text{стр}}$, диаметров $d_{1,4}$, межцентровых расстояний $b_{1,4}$ и глубин h_4 отверстий перфорации, воздушных зазоров t_1 между противоположными торцами фрагментов пористых структур материалов и их суммарных периметров $P_{\text{сум}}$. При этом коэффициент перфорации $k_{\text{неп(зн)}}$ и коэффициент структурирования $k_{\text{стр}}$ определяются выражениями (3) и (4):

$$k_{\text{неп(зн)}} = \frac{S_{\text{неп(зн)}}}{S_{\text{нан(зн)}}}; \quad k_{\text{стр}} = \frac{S_o n_o}{S_{\text{нор}}} \quad (3, 4)$$

где $S_{\text{неп(зн)}}$, $S_{\text{нан(зн)}}$ – соответственно, суммарная площадь поверхности проекции отверстий перфорации на поверхность шумопоглощающей панели и площадь лицевой поверхности неперфорированной шумопоглощающей панели, м^2 ; S_o – суммарная площадь поверхностей (боковая и донная) тупикового отверстия перфорации, м^2 ; n_o – количество отверстий перфорации, шт.; $S_{\text{нор}}$ – площадь лицевой поверхности неперфорированного варианта пористого звукопоглощающего слоя, м^2 .

Модификация структур вибродемпфирующих материалов, основанная на рациональном перфорировании вязкоэластичного и армирующего слоев (рис. 9), обеспечивает увеличение их диссипативных свойств до 3 раз, с сопутствующим расширением эффективного температурного диапазона на 20...40 °С и снижением их удельного веса до 40% (рис. 7). Для определения качественной картины поверхностного распределения динамических деформаций изгибно-колеблющихся композитных структур с вязкоэластичными вибродемпфирующими покрытиями, проводились расчетные исследования с использованием программного комплекса «MSC.Nastran».

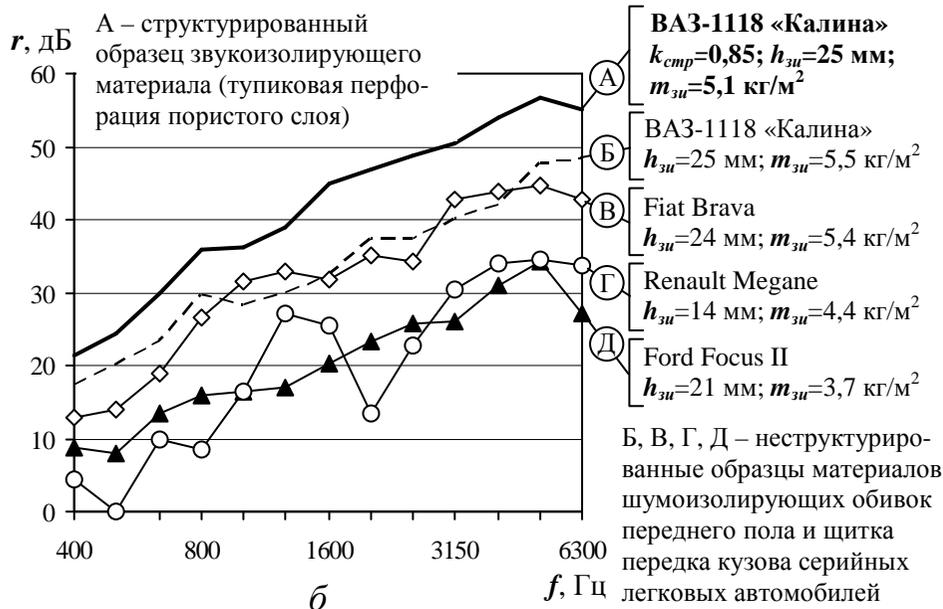
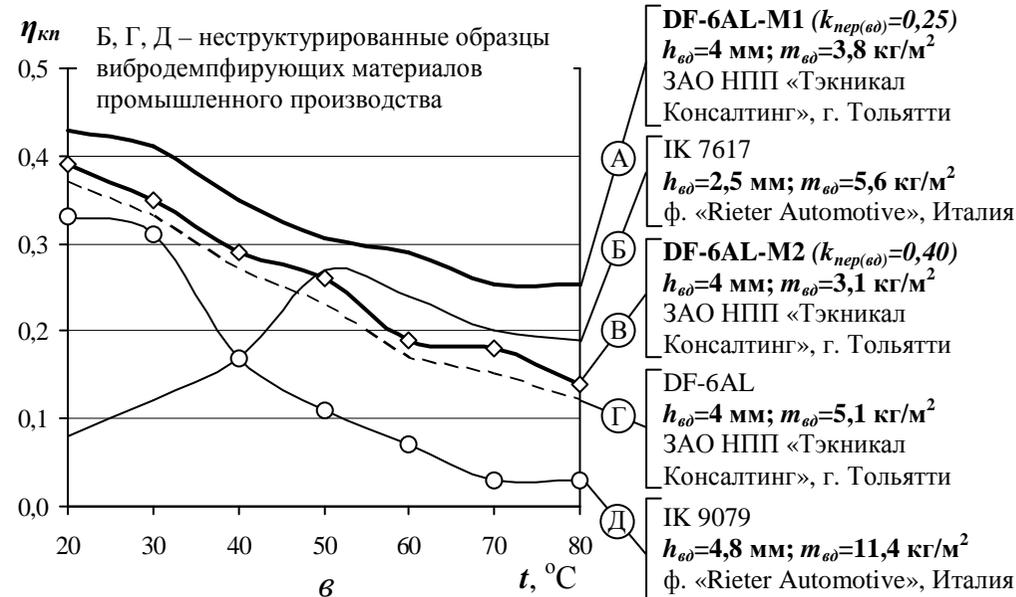
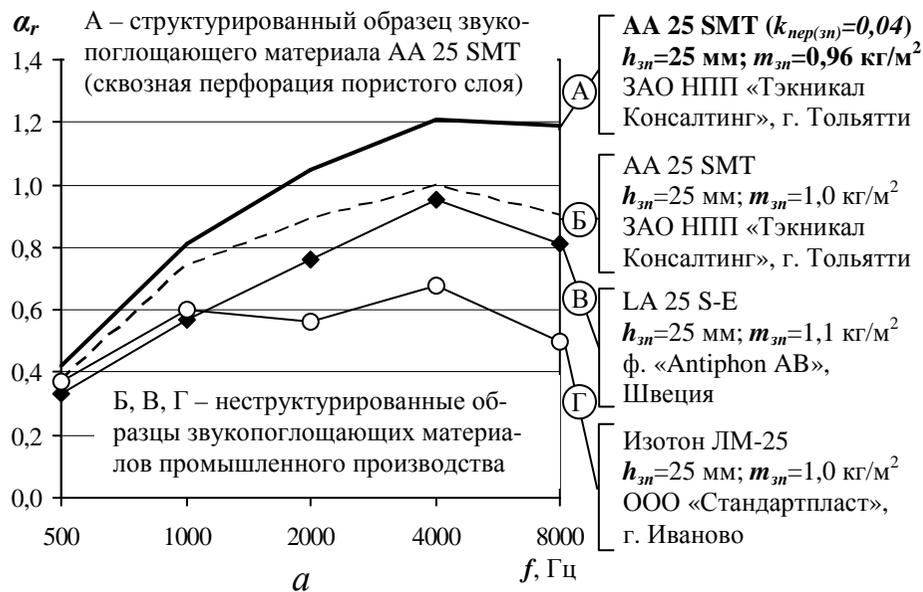
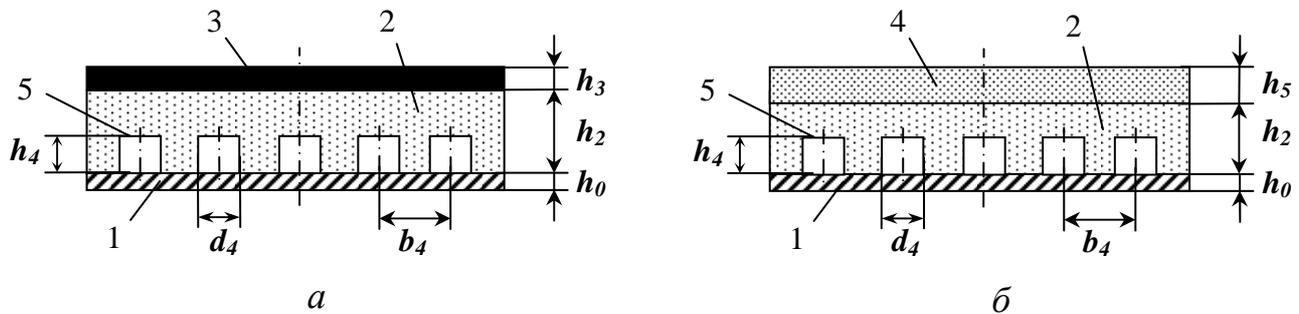


Рис. 7. Сравнение технических параметров структурированных и неструктурированных образцов звукопоглощающих (а), звукоизолирующих (б) и вибродемпфирующих (в) материалов, используемых для изготовления деталей серийных шумопоглощающих комплектов легковых автомобилей

$h_{зп}$, $h_{зи}$, $h_{вд}$ – толщина соответствующего акустического материала, мм; $m_{зп}$, $m_{зи}$, $m_{вд}$ – удельный поверхностный вес соответствующего акустического материала, кг/м²; α_r – реверберационный коэффициент звукопоглощения; r – способность к звукоизоляции, дБ; η_{kn} – приведенный композитный коэффициент потерь; f – частота звуковой волны, Гц; t – температура исследуемой композитной структуры, °C

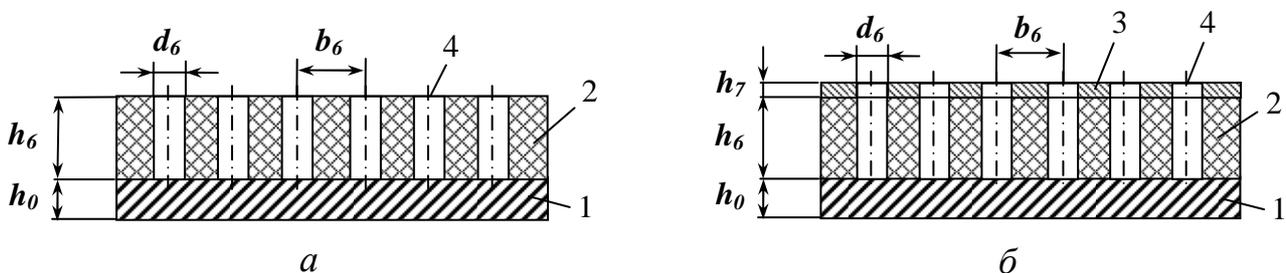


$$h_4 \leq 0,5h_2; b_4 = (0,5 \dots 2,0)d_4; k_{cmp} = 0,75 \dots 0,85$$

Рис. 8. Схемы структурированных двухслойных звукоизолирующих материалов типичной структуры с плотным звукоотражающим слоем (а)

и пористой структуры типа «ультралит» (б)

1 – тонколистовая панель кузова; 2 – пористый звукопоглощающий слой; 3 – плотный звукоотражающий слой; 4 – пористый звукоизолирующий слой повышенной плотности; 5 – тупиковые отверстия перфорации



$$M_6 \geq 10^8 \text{ Н/м}^2; k_{nep(\varphi d)} = 0,02 \dots 0,11 \\ d_6 = (1 \dots 4)h_6; b_6 = (4 \dots 10)d_6$$

$$M_6 = (0,1 \dots 1,0) \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2; K_7 \geq 6,8 \cdot 10^7 \text{ Н/м} \\ k_{nep(\varphi d)} = 0,05 \dots 0,40; d_6 = (1 \dots 6)h_6; b_6 = (2 \dots 10)d_6$$

Рис. 9. Схема композитной структуры, в составе кузовной панели, ламинированной перфорированным жестким (а) и армированным (б) вибродемпфирующим материалом 1 – тонколистовая панель кузова; 2 – вязкоэластичный слой; 3 – армирующий слой; 4 – отверстия перфорации

Анализ исследуемых композитных структур на различных стадиях их деформированного состояния позволил определить, что перфорирование составных слоев (вязкоэластичного, армирующего) вибродемпфирующих материалов приводит к весьма существенному усилению сдвиговой составляющей динамических деформаций их вязкоэластичного слоя, и соответственно, к увеличению потерь колебательной энергии. Наибольшие эффекты увеличения диссипативных свойств модифицированных вибродемпфирующих материалов достигаются при определенных соотношениях параметров структурирования (см. рис. 9): коэффициентов перфорации $k_{nep(\varphi d)}$, диаметров d_6 , межцентровых расстояний b_6 отверстий перфорации. При этом коэффициент перфорации определяется выражением (5):

$$k_{nep(\varphi d)} = \frac{S_{nep(\varphi d)}}{S_{покp(\varphi d)}} \quad (5)$$

где $S_{nep(\varphi d)}$, $S_{покp(\varphi d)}$ – соответственно, суммарная площадь проекции отверстий перфорации на плоскость поверхности вибродемпфирующего покрытия и площадь лицевой поверхности сплошного неперфорированного вибродемпфирующего покрытия, м².

Дополнительным условием обеспечения высоких диссипативных свойств является использование таких марок вибродемпфирующих материалов для проведения модификации, составные слои которых обладают определенными значениями физических параметров: «приведенный модуль потерь» M_6 – для вязкоэластичного слоя, «модуль жесткости» K_7 – для армирующего слоя (в составе двухслойных армированных материалов). Указанные физические параметры определяются выражениями (6) и (7):

$$M_6 = \beta_6 \cdot E_6, \text{ Н/м}^2; \quad K_7 = h_7 \cdot E_7, \text{ Н/м} \quad (6, 7)$$

где β_6 и E_6 – приведенные (к базовой частоте колебаний 200 Гц) коэффициент внутренних потерь и модуль Юнга (Н/м^2) вязкоэластичного слоя; h_7 и E_7 – толщина (м) и модуль Юнга (Н/м^2) армирующего слоя.

В шестой главе исследована технико-экономическая эффективность разработанных шумопонижающих мероприятий для легковых автомобилей. Внедрение разработанного комплекса шумопонижающих мероприятий на семействах легковых автомобилей ВАЗ-1118 «Калина» и ВАЗ-2170 «Приора» обеспечило их соответствие ужесточающимся национальным и международным стандартам, нормирующим уровни внутреннего и внешнего шума автомобилей (ГОСТ Р 51616-2000, ГОСТ Р 41.51-2004, правила №51-02 ЕЭК ООН). Указанный комплекс мероприятий включает использование деталей из структурированных акустических материалов (шумоизолирующих обивок кузова из материалов типа «ультралайт», вибродемпфирующих и шумопоглощающих прокладок и обивок кузова), интегральных шумопоглощающих экранных элементов ДВС, модуля системы охлаждения ДВС и регулирующих заслонок модуля ОВС, вспененных термоакустических пробок, монтируемых в шумопередающих элементах каркаса кузова, плосколистовых шумоизолирующих заглушек отверстий панелей кузова. Эффекты снижения общих уровней внешнего шума на нормируемых режимах испытаний, рассматриваемых семейств автомобилей ВАЗ, составили 1,0...2,5 дБА (с 73...74 дБА до 71,5...72 дБА), общих уровней внутреннего шума - 2...4 дБА (с 78...79 дБА до 75...76 дБА). Одновременно с этим, вес их штатных шумопонижающих комплектов снижается на $\approx 40...47\%$ ($\approx 18...21$ кг), что обеспечивает ориентировочный экономический эффект равный 2000 руб. на один автомобиль.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

На основе результатов выполненных экспериментальных и расчетно-экспериментальных исследований разработаны средства повышения эффективности акустических материалов и конструкций, обладающих пониженными весогабаритными и стоимостными показателями, и обеспечивающие улучшение акустических характеристик легковых автомобилей.

1. Усовершенствованы технологические процедуры экспериментальных и расчетно-экспериментальных исследований виброакустических характеристик легковых автомобилей, их шумоактивных агрегатов и систем, образцов акустических материалов и деталей шумопонижающих комплектов. Разработаны методы отдельной и комплексной оценок путей передачи звуковой энергии, с учетом эффектов ее гашения или усиления при распространении, и имитацией эксплуатационных условий автомобиля. Модифицированы технологические процедуры определения виброакустических характеристик структур акустических материалов и полномасштабных деталей шумопонижающих комплектов автомобилей.

2. Определены технические характеристики акустических материалов (звукопоглощающих, звукоизолирующих и вибродемпфирующих), используемых в составе конструкций деталей, агрегатов и систем легковых автомобилей, разработана уточненная классификация структурных составов и определены признаки категорийного ранжирования их шумопоглощающих качеств.

3. Разработаны методики совершенствования конструкций деталей шумопоглощающих комплектов легковых автомобилей, основанные на использовании акустических и температурных топологических карт панелей кузова, и обеспечивающие наиболее эффективное их применение по структуре, месторасположению, геометрической форме, с учетом эксплуатационного температурного и частотного диапазона.

4. Разработаны модифицированные структуры акустических материалов и конструкций, обладающих улучшенными шумопоглощающими, весо-габаритными и стоимостными характеристиками. Определены эффективные соотношения параметров структурирования акустических материалов и конструкций.

5. Определены значения основных технических параметров акустических материалов и полномасштабных деталей шумопоглощающего комплекта, обеспечивающих эффективное подавление ими шумовых излучений в различных пространственных зонах кузова легкового автомобиля.

6. Выявлены доминирующие пути воздушной передачи шумового излучения в пространство пассажирского помещения и разработаны средства их ослабления (термоакустические пробки для коробчатых элементов каркаса кузова, плосколистовые шумоизолирующие заглушки отверстий панелей кузова). Определены эффективные значения удельного поверхностного веса ($\geq 7 \text{ кг/м}^2$) и толщины ($\geq 3,5 \text{ мм}$) материала плосколистовых шумоизолирующих заглушек отверстий панелей кузова.

7. Усовершенствованы концептуальные структуры интегральных шумопоглощающих конструкций экранных элементов ДВС, модулей системы охлаждения ДВС, направляющих и регулирующих элементов модулей ОВС. Установлены эффективные значения коэффициентов перфорации несущих каркасов шумопоглощающих конструкций: $k_{пер(u)} \geq 0,1$ – направляющих и регулирующих элементов модулей ОВС, $k_{пер(u)} \geq 0,2$ – экранных элементов ДВС и модулей системы охлаждения ДВС.

8. Внедрение разработанных шумопоглощающих мероприятий в массовом производстве автомобилей семейств ВАЗ-1118 «Калина» и ВАЗ-2170 «Приора», позволило снизить общие уровни, генерируемого ими внешнего шума (на 1,0...2,5 дБА) и внутреннего шума (на 2...4 дБА), уменьшить их вес (на 18...21 кг) и стоимость (до 2000 руб.), улучшить экологические показатели.

Основные положения диссертации опубликованы

в изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией:

1. Фесина, М.И. О расчетно-экспериментальных исследованиях перфорированного вибродемпфирующего ламината, смонтированного на изгибно-колеблющейся стальной панели / М.И. Фесина, А.В. Краснов, И.В. Подкорытов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Специальный выпуск «Безопасность. Технологии. Управление» – 2007. – Т. 2. – С. 164-170.

2. Краснов, А.В. Об условиях и особенностях выбора марок и категорий эффективности вибродемпфирующих материалов для снижения структурного шума панелей кузова легкового автомобиля / А.В. Краснов, М.И. Фесина, С.А. Рекунов,

В.Е. Ульянова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Специальный выпуск «Безопасность. Технологии. Управление» – 2007. – Т. 2. – С. 204-212.

3. Фесина, М.И. О приемах локализации и модификационного моделирования источников излучения звуковой энергии в энергетических установках и транспортных средствах / М.И. Фесина, А.В. Краснов, И.В. Дерябин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Специальный выпуск «Безопасность. Технологии. Управление» – 2007. – Т. 3. – С. 5-10.

4. Фесина, М.И. Об использовании ранжированных плосколистовых звукопоглощающих материалов в качестве эффективных шумопоглощающих футеровок деталей автомобиля / М.И. Фесина, А.В. Краснов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2008. – №3. – С. 895-905.

5. Фесина, М.И. Об уточненной классификации и некоторых приемах модификационного структурирования шумопоглощающих деталей современных моделей легковых автомобилей / М.И. Фесина, А.В. Краснов // Машиностроение и инженерное образование. – 2008. – №4. – С. 11-24.

6. Фесина, М.И. Об используемых типах автомобильных звукоизоляционных материалов и некоторых приемах их модификационного структурирования / М.И. Фесина, А.В. Краснов // Безопасность жизнедеятельности. – 2008. – №9. – С. 10-16.

7. Фесина, М.И. Об использовании некоторых приемов структурирования материалов для улучшения виброакустических свойств панелей, обивок и ламинатных прокладок в легковых автомобилях / М.И. Фесина, А.В. Краснов // Известия МГТУ «МАМИ». – 2009. – № 1. – С. 73-85.

8. Фесина, М.И. О критериях выбора категорий эффективности звукоизоляционных материалов, применяемых для снижения шума легкового автомобиля / М.И. Фесина, А.В. Краснов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева. – 2009. – № 2. – С. 95-105.

в других изданиях:

9. Краснов, А.В. Методики экспериментального определения акустических характеристик деталей кузова легкового автомобиля и звукоизолирующих материалов / А.В. Краснов // Журнал автомобильных инженеров. – 2007. – №4. – С. 34-39.

10. Краснов, А.В. Методы определения вибродемпфирующих свойств материалов, применяемых в конструкции автомобиля / А.В. Краснов // Журнал автомобильных инженеров. – 2007. – №5. – С. 40-43.

11. Фесина, М.И. Об одном из путей улучшения акустических характеристик отопительно-вентиляционной системы салона легкового автомобиля / М.И. Фесина, А.В. Краснов, Л.А. Паньков // Машиностроитель. – 2007. – №8. – С. 52-62.

12. Фесина, М.И. О рационализации выбора эффективных вибродемпфирующих покрытий панелей кузова легкового автомобиля с учетом их эксплуатационной температурной нагруженности / М.И. Фесина, А.В. Краснов, С.Г. Леонов // Машиностроитель. – 2008. – № 9. – С. 41-45.

13. Фесина, М.И. Формованные многофункциональные детали кузова легкового автомобиля с выраженной звукопоглощающей функцией / М.И. Фесина, А.В. Краснов // Машиностроитель. – 2008. – № 12. – С. 45-54.

в патентах на изобретения и полезные модели:

14. Кожух двигателя внутреннего сгорания: пат. RU 2327887 / М.И. Фесина, Е.В. Филин, А.В. Краснов, С.А. Рекунов; опубл. 27.06.2008, Бюл. №18.

15, 16. Система отопления и вентиляции пассажирского салона легкового автомобиля (варианты): пат. RU 2328382 / Л.А. Паньков, М.И. Фесина, А.В. Краснов; опубл. 10.07.2008, Бюл. №19.

17. Виброшумодемпфирующая плосколистовая прокладка: пат. RU 2333545 / Л.А. Паньков, М.И. Фесина, А.В. Краснов; опубл. 10.09.2008, Бюл. №25.

18. Транспортное средство: пат. RU 2351785 / Л.А. Паньков, М.И. Фесина, А.В. Краснов; опубл. 10.04.2009, Бюл. №10.

19. Многослойная армированная виброшумодемпфирующая плосколистовая прокладка: пат. RU 2351995 / Л.А. Паньков, М.И. Фесина, А.В. Краснов; опубл. 10.04.2009, Бюл. №10.

20. Шумоизоляционная обивка кузова автомобиля: пат. RU 2369495 / Л.А. Паньков, М.И. Фесина, А.В. Краснов; опубл. 10.10.2009, Бюл. №28.

21. Шумопонижающий узел транспортного средства: пат. RU 2376167 / Л.А. Паньков, М.И. Фесина, А.В. Краснов; опубл. 20.12.2009, Бюл. №35.

22. Шумопоглощающий брызговик моторного отсека транспортного средства: пат. RU 52809 / М.И. Фесина, Е.В. Филин, А.В. Краснов; опубл. 10.04.2006, Бюл. №12.

23. Низкошумное устройство для отопления и вентиляции пассажирского салона автомобиля: пат. RU 71600 / Л.А. Паньков, А.В. Краснов; опубл. 20.03.2008, Бюл. №8.

24. Шумопоглощающий брызговик моторного отсека транспортного средства: пат. RU 72453 / М.И. Фесина, А.В. Краснов, Е.В. Филин; опубл. 20.04.2008, Бюл. №11.

25. Брызговик моторного отсека транспортного средства: пат. RU 78759 / М.И. Фесина, Е.В. Филин, А.В. Краснов; опубл. 10.12.2008, Бюл. №34.

26. Кожух двигателя внутреннего сгорания транспортного средства: пат. RU 81925 / М.И. Фесина, Е.В. Филин, А.В. Краснов; опубл. 10.04.2009, Бюл. №10.