

КЛАССИФИКАЦИЯ И МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ ШУМОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

М.И. Фесина, А.В. Краснов



ФЕСИНА
Михаил
Ильич

Доцент кафедры управления промышленной и экологической безопасностью Тольяттинского государственного университета, кандидат технических наук, заслуженный конструктор РФ. Область научных интересов – виброакустика транспортных средств и энергетических установок. Автор 516 научных работ, в том числе 415 патентов на изобретения и полезные модели.

дустрии [1, 2], носит самый общий формальный характер и не учитывает специфические особенности использования их разнообразного ассортимента, разработанного в последние годы и использующегося, в частности, в современных конструкциях автотранспортных средств. Именно поэтому представляет интерес более подробный анализ структур и характеристик звукопоглощающих материалов, входящих в состав шумопоглощающих деталей. Также весьма полезным представляется освещение практических приемов их структурной модификации, направленной на усиление звукопоглощающих свойств.

Введение

В конструкциях современных моделей автомобилей для снижения уровня шума широко применяются детали, изготовленные из различных звукопоглощающих материалов, в том числе многофункциональные многослойные, содержащие в своем составе слои из звукопоглощающих материалов. Классификация типов звукопоглощающих материалов и сделанных из них шумопоглощающих деталей, уже продолжительное время применяемых в различных областях промышленности, на транспорте и строительной ин-



КРАСНОВ
Александр
Валентинович

Доцент кафедры управления промышленной и экологической безопасностью Тольяттинского государственного университета. Область научных интересов – виброакустика транспортных средств и энергетических установок. Автор 42 научных работ, в том числе 7 патентов на изобретения и полезные модели.

1. Классификация шумопоглощающих деталей автомобилей

Шумопоглощающие детали, используемые в конструкциях современных легковых автомобилей, целесообразно классифицировать по геометрической форме, типу пористой структуры звукопоглощающего слоя, количеству и типам составных слоев многослойных структур, динамической жесткости пористого скелета (величине упругих деформаций относительного сжатия), возгораемости и т.д. В качестве отдельных слоев звукопоглощающие материалы могут входить как в многослойные шумопоглощающие автомобильные детали (с доминирующей шумопоглощающей функцией), так и в детали многоцелевого назначения.

По геометрической форме шумопоглощающие автомобильные детали могут быть плосколистными, объемными и формованными. По количеству звукопоглощающих слоев или наличию дополнительных слоев, выполняющих другие (не шумопоглощающие) функции, шумопоглощающие детали подразделяются на однослойные, двухслойные и многослойные. По величине динамической жесткости пористого скелета шумопоглощающие детали следует подразделить на детали с упругомягким и жестким пористым скелетом, по типу пористой структуры звукопоглощающего слоя – на вспененные открытоячеистые, волокнистые и пластинчато-перфорированные. Среди волокнистых материалов все более широкое распространение находят шумопоглощающие автомобильные детали из плетено-волокнистых структур и иглопробивные волокнистые ворсовые ковровые покрытия. Все используемые в автомобилестроении звукопоглощающие материалы для обеспечения пожаробезопасности автомобиля должны быть негорючими или трудновоспламеняемыми. Обобщенная схема классификации автомобильных шумопоглощающих деталей и звукопоглощающих материалов, из которых они выполнены, представлена на рис. 1.

К конкретным типам шумопоглощающих деталей, используемых в конструкциях легковых автомобилей (см. позиции на рис. 2), относят:

1) плосколистовые шумопоглощающие панели (шумопоглощающие футеровки) на основе пористых вспененных открытоячеистых или волокнистых структур с упругомягким скелетом одно-, двух- или многослойные, покрытые внешним защитным звукопрозрачным слоем (или без него), самоклеющиеся или без адгезионного монтажного слоя. Как правило, такие панели монтируются на экранных элементах моторного отсека (поз. 1, 2, 3), деталях интерьера пассажирского салона (поз. 4, 5) и багажного отделения автомобиля (поз. 6, 7), элементах систем, транспортирующих зашумленный воздушный поток (корпусных элементах систем впуска двигателя – поз. 8, отопления и вентиляции салона автомобиля – поз. 9);

2) формованные обивки, имеющие первичную доминирующую звукопоглощающую функцию, в виде пористых вспененных открытоячеистых или волокнистых структур с упругомягким скелетом одно-, двух- или многослойные, покрытые внешним защитным (или декоративным) звукопрозрачным слоем или без него. Формованные обивки монтируются преимущественно на панелях кузова (поз. 10, 11) и экранных элементах моторного отсека автомобиля (поз. 1, 2, 3);

3) комбинированные многофункциональные формованные обивки с дополнительной вторичной звукопоглощающей функцией (доминирующими являются другие неакустические функции обивок, например, несущая и декоративная). Они содержат звукопоглощающий пористый упругомягкий скелетный слой вспененной открытоячеистой или волокнистой структуры, интегрированный с другими составными структурными слоями, непосредственно не выполняющими звукопоглощающих функций (несущий и/или армирующий, вибродемпфирующий, лицевой декоративный, лицевой защитный, лицевой термоизоляционный). Перечисленные типы комбинированных многофункциональных формованных обивок используются преимущественно в отделке пассажирского салона, моторного отсека и багажного отделения (поз. 4, 5, 12, 13) и термоакустических экранных модулей автомобиля;

4) рыхлые высокотемпературные волокнис-

тые шумопоглощающие набивки с упругомягким скелетом применяются исключительно в качестве объемных пористых шумопоглощающих модулей, устанавливаемых в полостях расширительных и резонаторных камер глушителей шума системы выпуска отработавших газов двигателя (поз. 14, 15);

5) однослойные плосколистовые высокотемпературные шумопоглощающие прокладки с упругомягким скелетом применяются в основном в виде беззазорно смонтированных кожухов на внешних шумоактивных термовибронагруженных корпусных элементах системы выпуска отработавших газов двигателя. Кроме этого они выполняют функции вибродемпфирующих и термоизоляционных элементов;

6) пластинчато-перфорированные плосколистовые или формованные неплоские экранные термоакустические элементы (без или с последующим заполнением полостей пористым звукопоглощающим веществом) широко используются в качестве термоакустических экранов систем выпуска отработавших газов двигателя (каталитического коллектора, нейтрализаторов, основного и дополнительного глушителей шума выхлопа), расположен-

ных с заданным воздушным зазором относительно шумоизлучающего корпусного термонагруженного элемента системы выпуска (поз. 16);

7) трубопроводные шумопоглощающие элементы, изготовленные из пористых воздухопродуваемых плетено-волоконистых структур (плетено-волоконистые оболочки воздухоподающих шлангов), применяются в составе трубопроводных элементов воздухозаборных патрубков воздухоочистителей систем впуска двигателей (поз. 17);

8) объемные термоакустические элементы с упругомягким и/или жестким пористым скелетом, монтируемые в коробчатых пустотелых шумопередающих элементах силового каркаса кузова (порогах, стойках, усилителях силового каркаса кузова), преимущественно используются в виде вспениваемых или закладных термоакустических пробок (поз. 18);

9) иглопробивные ворсовые воздухопродуваемые покрытия (например, на пористом латексном основании), применяемые в качестве ковровых покрытий в отделке пассажирского салона (поз. 19) и багажного отделения (поз. 7, 20, 21), локеров коврового типа (поз. 22), используются также как комбинированные детали интерьера пассажирско-

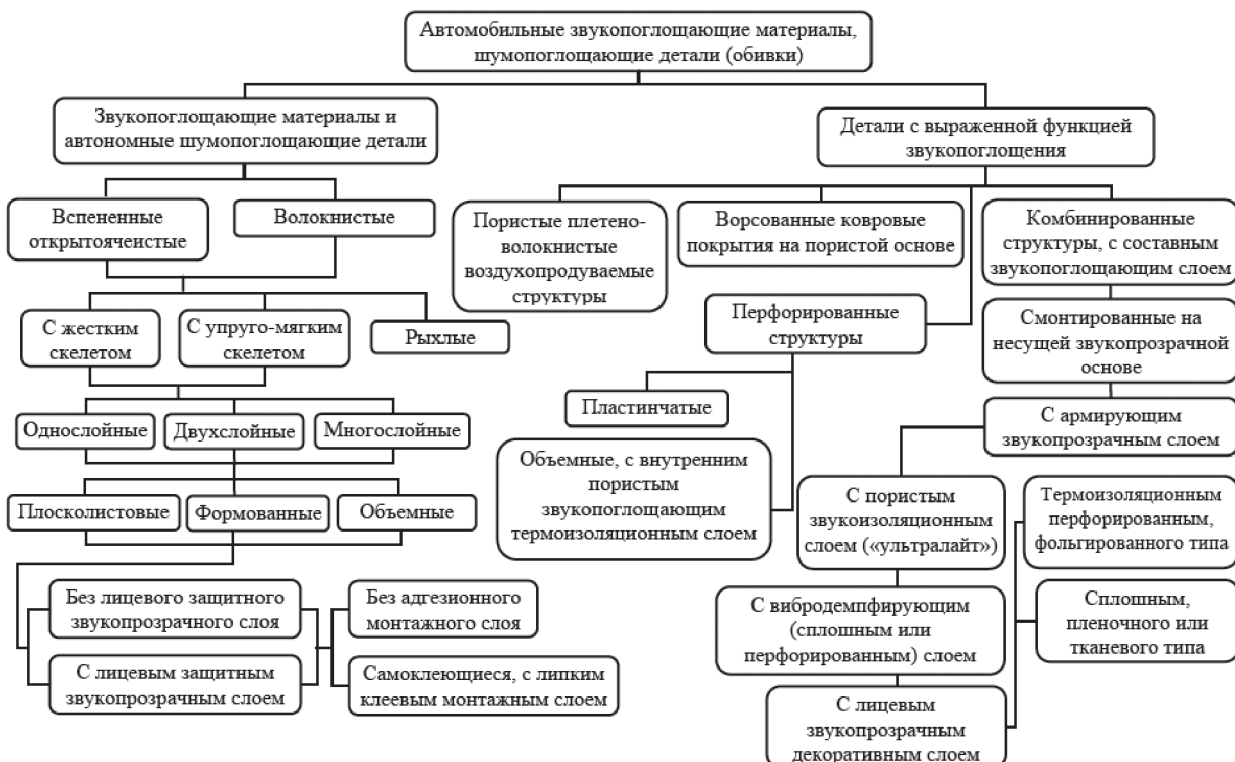


Рис. 1. Классификационная схема автомобильных шумопоглощающих деталей

го салона (интегральные ковры, «звукопрозрачно сшитые» с шумопоглощающими обивками кузова, например, щитка передка или пола).

Как известно, типичные звукопоглощающие материалы состоят из пористого скелета, занимающего часть общего объема структуры, включающей многочисленные сообщающиеся полости и каналы (для открытоячеистых материалов) или сообщающиеся капиллярные каналы (для волокнистых материалов), заполненные упругой воздушной средой.

Перфорированные пластинчатые элементы по сути являются одной из многочисленных разновидностей пористых структур с выраженной крупнопористой структурой сквозных каналов, образуемых отверстиями перфорации. Плетеные трубопроводные воздухопродуваемые пористо-волокнистые структуры, наделенные звукопоглощающей функцией, или иглопробивные ворсовые воздухопродуваемые ковровые покрытия пассажирского салона и/или багажного отделения (с пористой несущей основой типа латекса) также относятся к типичным пористым звукопоглощающим структурам.

Механизм поглощения энергии звуковых волн, распространяемых в пористых структурах звукопоглощающих материалов, обусловлен сложными динамическими (деформационными, фрикционными, тепловыми) волновыми взаимодействиями как с внешней поверхностью, так и с внутренней структурой пористого материала. При распространении звуковых колебаний по капиллярным воздушным каналам в зонах волокон или между сообщающимися ячейками пористых материалов возникают вязкие силы трения, вызывающие процессы вязкоупругого демпфирования. Также име-

ют место специфические потери звуковой энергии в местах сужения и излома пор, связанные с процессами распространения (отражений и интерференционных взаимодействий) падающих и отраженных звуковых волн. В результате протекания указанных физических процессов в заполненной воздухом пористой структуре материала реализуется необратимое преобразование (рассеяние) колебательной энергии звуковых волн в тепловую энергию.

В пористых звукопоглощающих материалах, обладающих динамически податливым упругомягким скелетом, имеет место дополнительный механизм поглощения звуковой энергии, возникающий за счет сопутствующих внутренних механических потерь (внутреннего трения материала), появляющихся в результате происходящих динамических деформаций скелета, которые образуются за счет силового воздействия на него переменного звукового давления. В пористых звукопоглощающих материалах, обладающих жестким (по сути не деформируемым из-за непосредственного воздействия падающих звуковых волн) скелетом, сопутствующее рассеяние механической энергии отсутствует. В связи с этим механизм поглощения звуковой энергии в таких жестких пористых структурах является существенно более слабым, так как он обусловлен исключительно фрикционным процессом теплового необратимого рассеяния энергии звуковых волн при их распространении и затухании по сообщающимся воздушным порам и каналам.

Неметаллические звукопоглощающие материалы волокнистого типа являются одними из наиболее распространенных. Их структура представляет собой пористый упругомягкий деформируе-

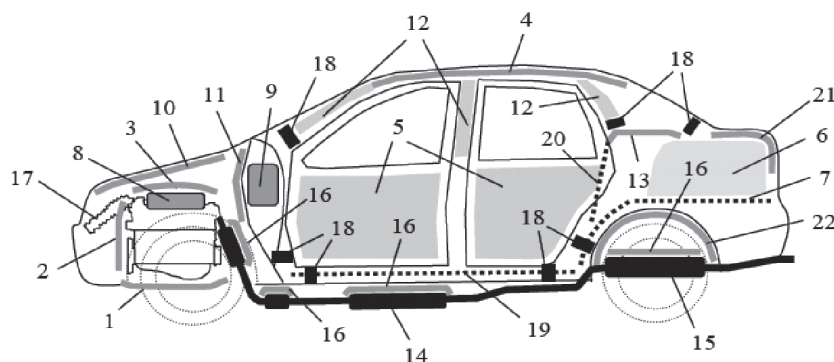


Рис. 2. Зоны применения шумопоглощающих деталей в легковом автомобиле

мый скелет, который сформирован множеством динамически связанных и взаимодействующих между собой волокон. Воздушные поры, образовавшиеся в упругих структурах таких волокнистых материалов, имеют вид узких сообщающихся капиллярных каналов.

К волокнистым звукопоглощающим материалам относятся, в частности, материалы, выполненные на основе натуральных (хлопковых, шелковых, джутовых, сизальных, льняных, конопляных и др. или белковых животного происхождения), синтетических (акриловых, полиэфиров, полиоксидных, полиимидных, углеродных, арамидных, полипропиленовых, нейлоновых, и т.д.), минеральных (базальтовых, керамических, стеклянных и т.д.) волокон, а также металлических волокон в виде специально подготовленных металлических структур типа пористого волокнистого материала (ПВМ), пористого сетчатого материала (ПСМ), металлорезины (МР) [3]. Пористые металлические материалы не получили практического применения в конструкциях легковых автомобилей из-за их высокой стоимости и низких звукопоглощающих свойств. В отдельных случаях они используются в качестве виброизолирующих и вибродемпфирующих элементов узлов, подвергаемых высоким динамическим и температурным нагрузкам, например, в конструкциях демпфирующих втулок компенсаторов колебаний систем выпуска отработавших газов двигателей автомобилей.

К вспененным (или губчатым) относят звукопоглощающие материалы, пористый упругодеформируемый скелет которых сформирован посредством технологического вспенивания и последующей полимеризации расплава полимерного материала или посредством проведения соответствующей химической реакции. К вспененным звукопоглощающим материалам, к примеру, относятся открытоячеистые материалы, выполненные на основе уретанового, нитрильного, винилового, бутадиен-стирольных полимерных составов. Данный тип звукопоглощающих материалов также широко используется в конструкциях шумопоглощающих деталей (панелей, обивок) автотранспортных средств наряду с уже отмеченными неметаллическими волокнистыми звукопоглощающими материалами.

К вспененным звукопоглощающим материалам с жестким скелетом относят материалы, структура которых может быть сформирована за счет принудительного распределения вводимого воздуха в расплавы (растворы) материала, способного при затвердевании формировать пористый скелет; в результате протекания химической реакции (с выделением паров); при введении газообразующих веществ (гидридов, карбонатов и т.д.) в расплавы, за счет соответствующего прессования и спекания порошков металлов и их соединений. К таким материалам (используемым в автомобилестроении очень редко и в весьма ограниченных количествах) можно отнести, например, пористые вспененные закрытоячеистые металлические сплавы на основе алюминия, которые в ряде случаев применяются в качестве локальных закладных элементов жесточения и упрочнения коробчатых силовых структур кузова для обеспечения требований пассивной безопасности автомобиля, попутно выполняющих полезные функции звукоизолирующих элементов. Вспененная закрытоячеистая структура таких материалов обладает весьма низкими звукопоглощающими свойствами.

В современных конструкциях легковых автомобилей наиболее широко применяются плоскостные и цельноформованные шумопоглощающие детали. Объемные шумопоглощающие детали применяются значительно реже и в основном используются для выполнения попутной функции снижения передачи звука (посредством процессов поглощения и/или изоляции), распространяемого в пространстве салона автомобиля по пустотелым коробчатым элементам силового каркаса кузова типа порогов, стоек, усилителей [4, 5]. В качестве практических примеров использования объемных шумопоглощающих материалов, монтируемых в звукопередающих коробчатых пустотелых сечениях кузова, можно привести промышленно производимые материалы марок «Sika Buffle» фирмы «Sika» (Швейцария), «Betafoam» фирмы «Dow Automotive» (США), «Bayfill ST» фирмы «Bayer Corp.» (Германия), «Antiphon ESM» фирмы «Perstorp Components» (Швеция), «Betacore» фирмы «Gurit-Essex» (Швейцария), «Terophon» фирмы «Henkel» (Германия).

Плосколистные шумопоглощающие детали наиболее широко применяются в составе многофункциональных деталей, а также в виде монолитных или составных шумопоглощающих панелей (обивок), монтируемых в моторном отсеке автомобиля (капоте, щитке передка кузова, нижнем брызговике моторного отсека, верхнем декоративном кожухе двигателя, кожухе привода газораспределительного механизма двигателя и др.) [6–11]. Также они могут применяться в виде составных многослойных интегральных шумоизоляционных модулей, совмещенных, например, с обивкой крыши или багажного отделения автомобиля. Весьма распространено применение таких шумопоглощающих панелей в качестве дополнительных футеровок отдельных элементов интерьера салона, монтируемых на внутренних поверхностях стенок кожуха рычага коробки передач, кожуха рулевого вала и др. [12–15]. Известно использование плосколистных шумопоглощающих панелей в качестве футеровок поверхностей стенок элементов систем, транспортирующих зашумленный воздушный поток [16–18].

Все более широкое применение в современных конструкциях легковых автомобилей находят многофункциональные формованные детали интерьера салона, моторного отсека и багажного отделения с выраженной сопутствующей (или основной доминирующей) функцией повышенного шумопоглощения. Такие детали помимо своих основных функций (например, декоративного, несущего, каркасного элементов или модульных интегрированных блоков, совмещающих, в частности, узловые элементы систем освещения, вентиляции или контроля климата, приспособлений для установки мультимедийных средств и др.) могут весьма эффективно выполнять полезную функцию звукопоглощения. В свою очередь, детали, основная функция которых – звукопоглощение, могут попутно выполнять другие полезные функции. Последние широко применяются в качестве шумопоглощающих элементов, монтируемых на поверхностях панелей щитка передка со стороны моторного отсека, капота, на внутренних поверхностях нижних аэроакустических экранов моторного отсека, в качестве составных элементов акустичес-

ких капсул моторного отсека [19–24]. В качестве типичных многофункциональных формованных деталей пассажирского салона и багажного отделения, изготовленных из пористых структур с направленно выраженными звукопоглощающими свойствами, следует отметить обивку крыши, полку багажника, ковровые покрытия пола, а также изготовленные из пористых звукопоглощающих структур обивки боковин, крышки багажника, колесные локеры коврового типа и др. [24–27]. Известно также применение на отдельных моделях легковых автомобилей формованных обивок дверей и обивок стоек кузова, изготовленных из пористых звукопоглощающих структур [23, 24, 28, 29], поверхностных пористых звукопоглощающих футеровок подушек и спинок сидений салона автомобиля [30].

Особое место в конструкциях легковых автомобилей занимают высокотемпературные рыхлые волокнистые звукопоглощающие материалы, применяемые в качестве набивок расширительных и резонаторных камер глушителей шума выхлопа систем выпуска отработавших газов двигателей легковых автомобилей [31–33]. Необходимо отметить, что в настоящее время подавляющее большинство конструкций глушителей содержат волокнистые звукопоглощающие набивки, размещаемые в полостях камер основного и/или дополнительного глушителей. Ввиду высоких температур выхлопных газов (+500 – +800 °C), непосредственно контактирующих с пористой структурой волокнистых набивок, для этих целей используется термостойкое базальтовое (температура плавления +800 °C) или стеклянное (температура плавления +500 °C) волокно. С целью исключения выдувания волокон из полостей камер глушителей потоком выхлопных газов соответствующие поверхностные зоны перфорированных труб и перегородок камер дополнительно футеруются тонким заграждающим мелкоячеистым сетчатым волокнистым металлическим слоем или слоем плетеных (путаных) металлических волокон. Следует заметить, что в качестве многофункционального устройства, наделенного попутной функцией звукопоглощения, выступает также и пористая сотовая структура керамического каталитического блока нейтра-

лизатора выхлопных газов системы выпуска отработавших газов двигателя автомобиля.

В конструкциях современных моделей легковых автомобилей используют, в том числе и звукопоглощающие материалы и конструкции, обладающие эффективными звукопоглощающими свойствами в относительно узком диапазоне доминирующих частот [34–38]. К примеру, в конструкциях легковых автомобилей, оборудованных термонагруженными коллекторными, корпусными и трубопроводными элементами выхлопной трассы, требующими комплексного решения как термоизоляционных, так и виброакустических проблем, широкое применение находят разнообразные конструкции термоакустических экранов. В большинстве случаев такие экранные элементы изготавливаются из перфорированных листовых металлических (алюминиевых, стальных) шумопоглощающих конструкций. Перфорированные пластинчатые элементы являются типичными резонансными поглотителями звуковой энергии, отличающимися максимальным эффектом подавления звука на четвертьволновом расстоянии поверхности перфорированной структуры элемента от близко расположенных жестких звукоотражающих стенок (пола кузова, поверхности дорожного покрытия). В конструктивных вариантах исполнения перфорированных стенок элементов, образующих замкнутые полости, реализуются частотно-настроенные устройства объемных поглотителей звука типа резонаторов Гельмгольца. Их звукопоглощающий эффект формируется взаимосвязанным выбором геометрических размеров образованной резонаторной полости и отверстий перфорации, выполненных в заданной зоне стенки полости. Заполнение пористыми звукопоглощающими материалами (как правило, обладающими высокими термоизоляционными свойствами, типа стекло- и базальтового волокна, муллитокремнеземистого материала) замкнутых резонаторных полостей, образованных перфорированными стенками, существенно расширяет эффективный частотный диапазон поглощения звука. Такие шумопонижающие устройства могут быть выполнены в виде одно- или многослойных формованных деталей, а также различных комбинированных структур, содержащих крупно- и/или

микроперфорированные металлические листовые элементы и/или пористые звукопоглощающие термоизоляционные слои (например, базальто-волоконистые, муллитокремнеземистые).

Также в современных моделях легковых автомобилей достаточно часто находят применение составные многофункциональные трубопроводные элементы воздухозаборных патрубков воздухоочистителей систем выпуска двигателей, выполненные в виде пористых воздухопродуваемых плетено-волоконистых шумопоглощающих шлангов. Их сопутствующим функциональным назначением является эффективное подавление акустических резонансов, возникающих на низших собственных модах воздушных объемов, заключенных в полостях длинногабаритных воздухозаборных патрубков. Структура таких шумопоглощающих шлангов представляет собой пористый плетеный волокнистый звукопоглощающий материал, обладающий определенным сопротивлением продуванию воздушным потоком. Для обеспечения приемлемых жесткостных характеристик оболочка шланга армируется проволочным пружинным каркасом. В отдельных случаях для повышения звукопоглощающего эффекта используются многослойные комбинированные структуры таких шлангов, дополнительно футерованных слоем открытоячеистого пенополиуретана, а с внешней стороны покрытых звукопрозрачной уретановой пленкой. Обычно такие шумопоглощающие элементы монтируются посередине длины воздухозаборного патрубка или на отрезке, составляющем четверть от общей длины, отсчитываемой от его свободного (открытого) среза. Это позволяет не только эффективно подавлять низшие собственные резонансные моды воздушного объема полости патрубка, но и исключать потенциально возможное усиление излучения низкочастотного шума выпуска при расположении такой вставки непосредственно примыкающей к полости корпуса воздухоочистителя. В большинстве случаев использование пористых воздухопродуваемых шлангов благоприятно отражается и на повышении эффективных показателей двигателя внутреннего сгорания (мощности, крутящем моменте, удельном расходе топлива) за счет улучшения процесса наполнения цилиндров рабочей

смесью. Примеры использования пористых воздухопроницаемых звукопоглощающих оболочек шлангов на легковых автомобилях моделей «TOYOTA COROLLA» и «RENAULT SCENIC» приведены в работе [38].

Вакуумированные пористые звукопоглощающие материалы и комбинированные конструкции, созданные на их основе [29, 39–41], потенциально способны существенно увеличивать звукопоглощающий эффект в актуальном низкочастотном звуковом диапазоне при использовании уменьшенных габаритов звукопоглощающих элементов. Такие специфические материалы и конструкции пока не находят промышленного применения в конструкциях легковых автомобилей и поэтому не приведены на рис. 1. Однако, при успешном решении принципиальных технологических проблем их изготовления и обеспечения последующей надежной эксплуатации, они могут весьма эффективно использоваться в конструкциях различных шумопоглощающих устройств автотранспортных средств.

Структурные составы шумопоглощающих деталей, применяемых в современных моделях легковых автомобилей, представлены на рис. 3, где приведены следующие структурные схемы: а, б, в, г, д – составных слоев материалов плосколистовых шумопоглощающих панелей и формованных шумопоглощающих обивок моторного отсека; е – многофункциональных (с выраженной сопутствующей звукопоглощающей функцией) цельноформованных деталей пассажирского салона – обивок крыши, стоек, дверей кузова; ж – многофункциональных цельноформованных деталей пассажирского салона – обивок крыши, дверей, дополнительно футерованных изнутри плосколистовыми шумопоглощающими панелями; з – пористого иглопробивного ворсового коврового покрытия (для пола кузова пассажирского салона, пола и боковин багажного отделения); и – интегрального шумопоглощающего ковра пола пассажирского салона типа пористого иглопробивного ворсового коврового покрытия, интегрированного пористым латексным слоем с открытоячеистым вспененным или волокнистым слоями; к – интегрального шумопоглощающего ковра (пористого иглопробивного ворсового коврового покрытия, интегрирован-

ного с пористым эластичным и несущими структурными слоями пола багажного отделения); л – формованного коврового материала для изготовления шумопоглощающих деталей, например колесных локеров; м – звукопоглощающего материала типа поверхностного слоя пористой открытоячеистой футеровки подушек и спинки сидений пассажирского салона; н – пористого воздухопродуваемого плетено-волокнистого шумопоглощающего шланга воздухозаборного патрубка воздухоочистителя систем впуска двигателя; о – однослойного перфорированного термоакустического экрана, смонтированного с заданным воздушным зазором относительно звукоотражающей стенки; п – трехслойного перфорированного термоакустического экрана, локализованного в зоне звукоотражающей стенки; р – объемного перфорированного термоакустического экрана в виде замкнутой резонансной полости; с – перфорированного термоакустического экрана типа замкнутой резонансной полости, заполненной пористым звукопоглощающим термоизоляционным веществом.

2. Методы улучшения шумопоглощающих свойств деталей автомобилей

При разработках низкошумных конструкций легковых автомобилей весьма перспективным является использование модифицированных звукопоглощающих структур пористых материалов и деталей (панелей, прокладок, обивок) с целенаправленно повышенными звукопоглощающими свойствами (рис. 4). Это предусматривает выполнение соответствующих дополнительных конструктивно-технологических изменений исходной (штатной) структуры материала или придания заданной геометрической формы деталям (прокладкам, панелям, обивкам, покрытиям, экранам) [9, 42]. К таким модификациям с улучшенными акустическими свойствами, предлагаемыми авторами, относятся: рациональная схема перфорации структуры пористого слоя (рис. 4, а); преднамеренное расчленение (дробление) крупногабаритных шумопоглощающих панелей на несколько автономных малогабаритных той же суммарной площади лицевой поверхности (рис. 4, б); придание монолитным шумопоглощающим панелям увеличенного

периметра внешнего контура (лабиринтной формы) при неизменной (или даже уменьшенной) площади их лицевой поверхности (рис. 4, в); использование звукопоглощающих материалов с пониженной динамической жесткостью лицевого защитно-декоративного слоя (рис. 4, г).

Использование эффективного модификационного структурирования звукопоглощающих материалов (конструкций деталей) позволяет достигать

определенного снижения массы и, соответственно, стоимости звукопоглощающего материала в составе плоскостовых панелей и формованных обивок интерьера салона, моторного отсека или багажного отделения. Сохранение (или даже существенное повышение) звукопоглощающих свойств достигается путем целенаправленной интенсификации процесса поглощения звуковой энергии.

Эффективность перфорирования пористого

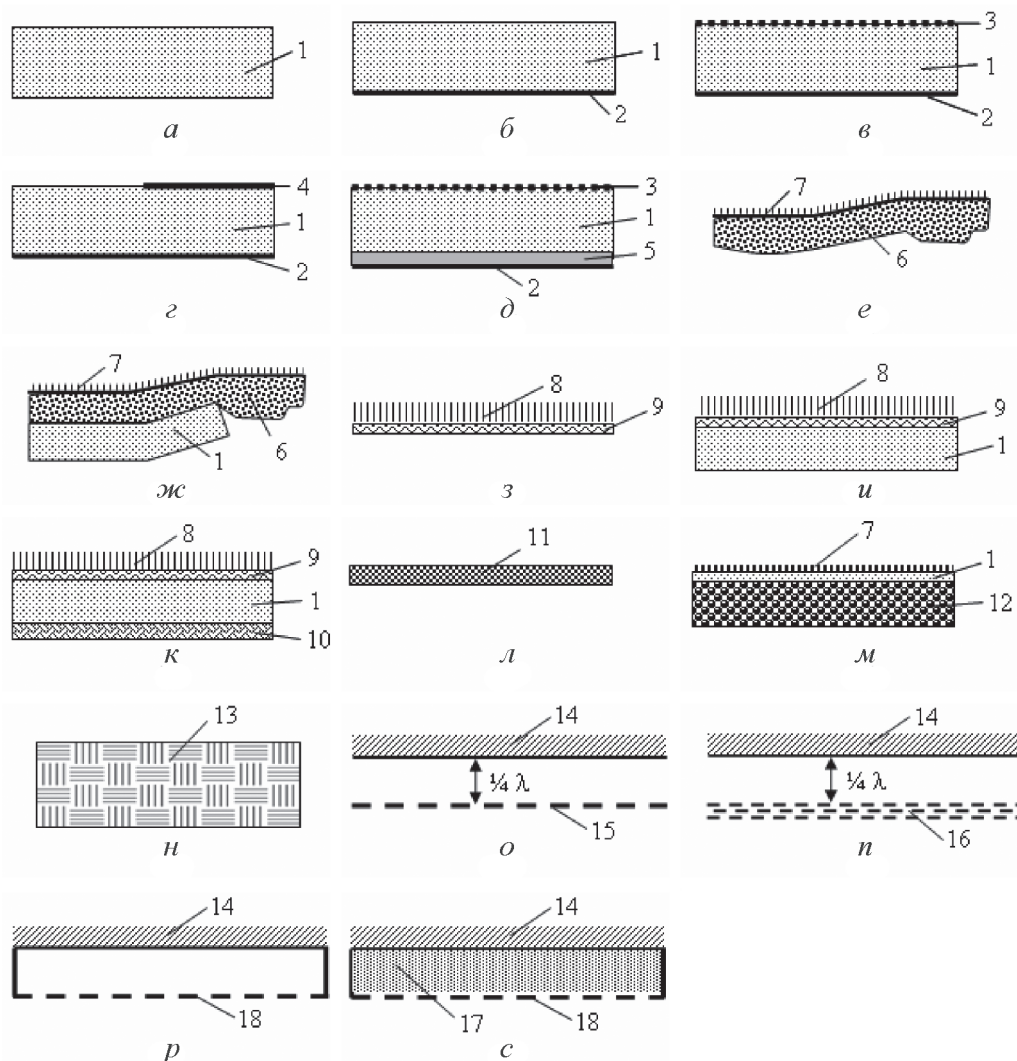


Рис. 3. Схема расположения составных структурных слоев материалов автомобильных шумопоглощающих деталей (прокладок, панелей, обивок, покрытий, экранов):

- 1 – пористый звукопоглощающий слой; 2 – монтажный адгезионный слой;
- 3 – лицевой защитный звукопрозрачный слой; 4 – термоизоляционный слой фрагментной зоны панели;
- 5 – вязкоэластичный вибродемпфирующий слой; 6 – формованный пористый звукопоглощающий слой;
- 7 – лицевой звукопрозрачный декоративный слой; 8 – ворсованное полотно коврового покрытия;
- 9 – пористая несущая воздухопроницаемая основа (коврового покрытия), 10 – несущий слой интегрального ковра;
- 11 – плотная формованная пористая звукопоглощающая структура; 12 – эластичная основа;
- 13 – плетено-волоконная воздухопроницаемая структура; 14 – звукоотражающая стенка (металлическая панель кузова);
- 15 – перфорированная структура однослойного термоакустического экрана;
- 16 – перфорированная структура трехслойного термоакустического экрана;
- 17 – звукопоглощающее термоизоляционное вещество;
- 18 – перфорированная стенка замкнутой резонансной полости; λ – длина звуковых волн, м

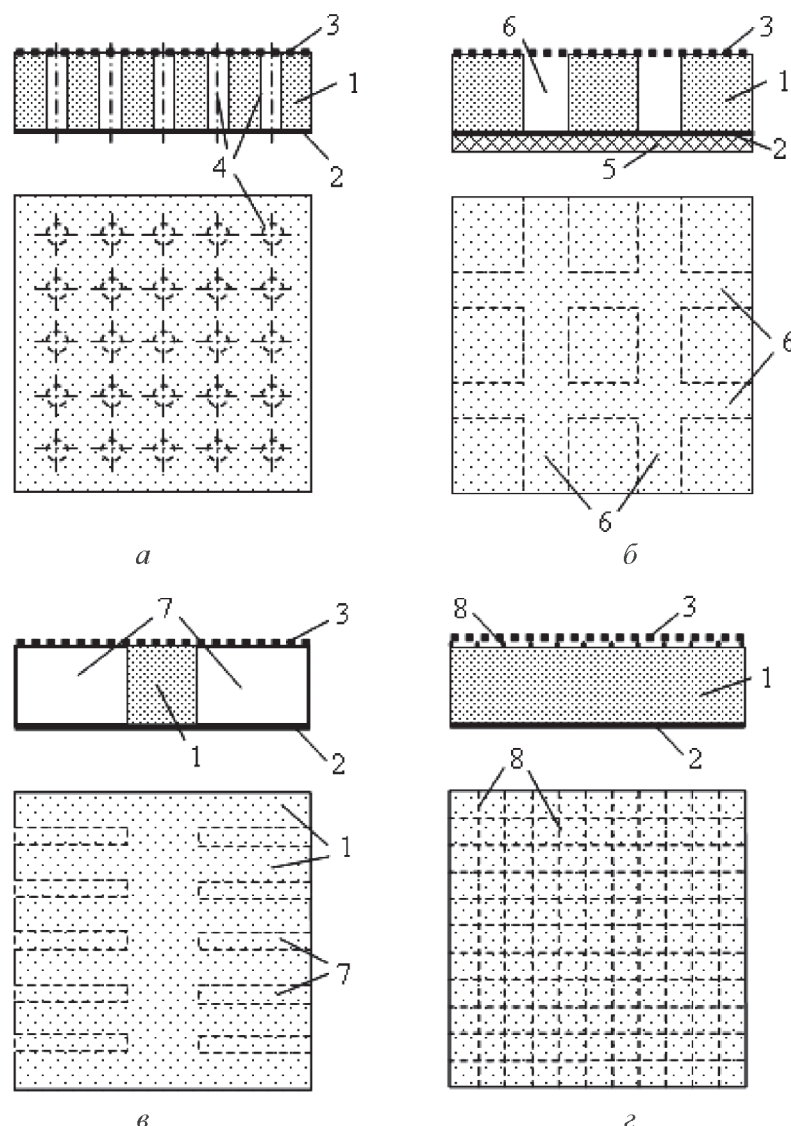


Рис. 4. Некоторые технические приемы повышения звукопоглощающих свойств панелей, выполненных из пористых структур материалов (сечение и вид сверху на лицевую поверхность образцов): 1 — пористый звукопоглощающий слой; 2 — монтажный клеевой слой; 3 — лицевой защитный звукопрозрачный слой; 4 — отверстия перфорации в пористом звукопоглощающем слое; 5 — несущая основа (несущая панель); 6 — воздушные зазоры между противоположными торцевыми зонами «дробленных» плосколистных пористых образцов; 7 — периферические лабиринтные вырезы в структуре пористого звукопоглощающего слоя, образующие увеличенный периметр внешнего контура панели; 8 — звукопрозрачный нитеобразный адгезионный слой, «звукопрозрачносшивающий» внешнюю поверхность пористого звукопоглощающего слоя с встречной поверхностью лицевого защитного слоя, выполненный в виде тонких (сплошных, прерывистых), обособленных пересекающихся линий, или обособленных частиц вещества

слоя шумопоглощающих панелей иллюстрируются результатами проведенных экспериментов. Исследовались образцы плосколистных шумопоглощающих панелей из открытоячеистого пенополиуретана (ППУ) размером 1200×1000 мм с толщиной листов 12,5 и 25 мм, покрытых внешней звукопрозрачной защитной полиэстеровой пленкой толщиной 0,012 мм. Также исследовались образцы ППУ аналогичного типа без защитной полиэс-

теровой пленки. Диаметр отверстий перфорации составлял 6 мм с изменением межцентрового шага 12,5, 25,0 и 50,0 мм и соответственным образованием числа отверстий, равным 6240, 1520 и 360. Результаты проведенных исследований (рис. 5) указывают на рост значений реверберационного коэффициента звукопоглощения $\bar{\alpha}_r$ до 0,3 во всем исследуемом диапазоне частот (500–8000 Гц).

При дроблении крупногабаритной шумопог-

лощающей панели на отдельные, разнесенные на заданное расстояние малогабаритные шумопоглощающие панели, меньшей суммарной лицевой площади поверхности, чем заданная базовая площадь сопоставляемой монолитной лицевой поверхности крупногабаритной шумопоглощающей панели, с соответственно меньшим расходом и стоимостью материала, но имеющие суммарный периметр внешних контуров, превышающий по крайней мере не менее чем в 1,25 раза периметр контура базовой крупногабаритной шумопоглощающей панели, можно достичь такого же звукопоглощающего эффекта, который был получен при применении базовой квадратной панели большей площади лицевой поверхности (соответственно большего расхода материала и его стоимости).

Это следует из результатов сравнения реверберационного коэффициента звукопоглощения α_r малогабаритных панелей, выполненных в виде 100 идентичных прямоугольников размером 200×50 мм, разнесенных друг от друга, с образованием воздушных зазоров 25 мм по отношению к монолитному квадратному плосколистному образцу той же лицевой площади поверхности равной 1 м² (рис. 6).

Из представленных результатов видно, что дробление монолитной звукопоглощающей панели приводит к существенному увеличению реверберационного коэффициента звукопоглощения α_r . В частности, в октавной полосе с центром 2000 Гц коэффициент α_r увеличивается более чем на 0,5. Данные результаты экспериментальных исследований носят в основном сопоставительный оценочный характер эффектов процесса звукопоглощения, зарегистрированных при изучении плосколистных шумопоглощающих панелей прямоугольной и квадратной формы.

Исследованные практические приемы улучшения шумопоглощения могут быть относительно легко реализованы в реальных конструкциях панелей различных геометрических форм и конструктивных исполнений, интегрированных в элементы кузова (капота, щитка передка), брызговика двигателя, футеровок экранов, кожухов двигателя и моторного отсека транспортного средства. В качестве примера могут быть приведены реализованные на практике шумопонижающие конструк-

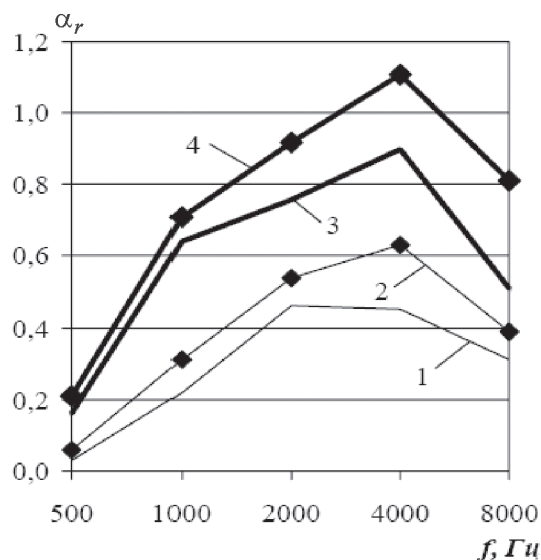


Рис. 5. Реверберационный коэффициент звукопоглощения α_r плосколистовой ППУ панели при различных вариантах ее перфорирования круглыми отверстиями: 1 – неперфорированная ППУ панель с защитной пленкой; 2 – перфорированная ППУ панель с защитной пленкой ($d=6$ мм, $b=25$ мм, $k_{\text{пер}}=0,04$); 3 – неперфорированная ППУ панель без защитной пленки; 4 – перфорированная ППУ панель без защитной пленки ($d=6$ мм, $b=25$ мм, $k_{\text{пер}}=0,04$); d – диаметр отверстий перфорации; b – межцентровой шаг отверстий перфорации; $k_{\text{пер}}$ – коэффициент перфорации

ции брызговика моторного отсека и верхнего кожуха двигателя автомобиля ВАЗ-2170 «Приора» с использованием модифицированных шумопоглощающих футеровок (панелей). В этом случае, площадь лицевой поверхности шумопоглощающих панелей верхнего кожуха двигателя автомобиля была снижена в 1,5 раза (рис. 7, а), а звукопоглощающая эффективность (эквивалентная площадь звукопоглощения) кожуха была увеличена в 1,6–3 раза в диапазоне октавных полос частот 500–8000 Гц. Это было достигнуто путем замены трех крупногабаритных шумопоглощающих панелей на семь малогабаритных, меньшей лицевой площади поверхности, имеющих суммарный периметр внешних контуров в 3,2 раза больший суммарного периметра трех крупногабаритных шумопоглощающих панелей.

Аналогичным образом была выполнена модификация шумопоглощающей футеровки брызговика моторного отсека автомобиля (рис. 7, б). В частности, лицевая площадь (и соответственно масса) плосколистовых шумопоглощающих панелей

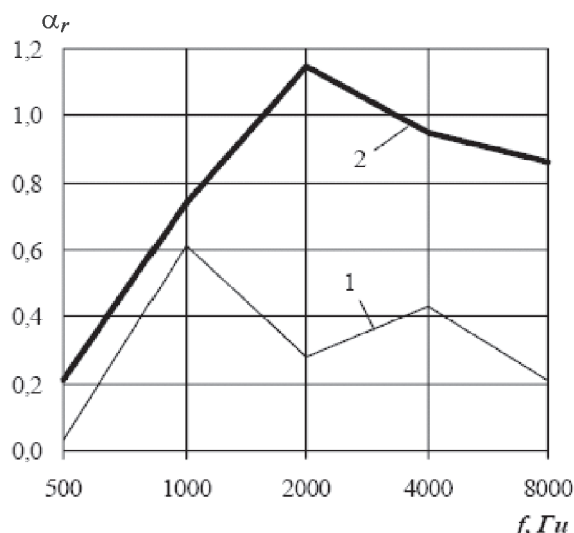


Рис. 6. Изменение реверберационного коэффициента звукопоглощения α_r крупногабаритной монолитной плосколистовой панели при ее дроблении: 1 – монолитная ППУ панель, $S = 1 \text{ м}^2$ (1000-1000 мм); 2 – ППУ панель «раздроблена» на 100 прямоугольных фрагментов (200×50 мм) с установленными воздушными зазорами 25 мм между торцами

брызговика была снижена в 2 раза. В это же время, звукопоглощающая эффективность брызговика возросла в 1,2–1,5 раза в диапазоне октавных полос частот 500–8000 Гц. Данный технический эффект был достигнут путем замены двух крупногабаритных шумопоглощающих панелей на шесть малогабаритных, имеющих суммарный периметр внешних контуров в 2 раза больший, чем у двух крупногабаритных шумопоглощающих панелей.

Используемый плосколистовой материал шумопоглощающих панелей состоит из внешнего защитного звукопрозрачного газонепроницае-

мого слоя (алюминизированной полиэстеровой пленки толщиной 0,012 мм), пористого звукопоглощающего слоя открытоячеистого пенополиуретана (ППУ) толщиной 15,0 мм и липкого клеевого монтажного слоя.

Одним из перспективных технологических приемов повышения звукопоглощающих и эксплуатационных свойств материалов (как вспененных, так и волокнистых) является придание их пористым структурам заданных анизотропных характеристик [42–44]. Освоенные промышленностью современные технологические процессы и используемое специализированное оборудование позволяют формировать в заданной поверхностной или объемной зоне пористой структуры звукопоглощающего материала те или иные физические параметры динамической жесткости, плотности, пористости, извилистости пор, удельного сопротивления продуванию воздушным потоком. Тем самым может быть обеспечено наиболее рациональное сочетание звукопоглощающих, прочностных, долговечностных, массовых и стоимостных показателей звукопоглощающих материалов.

Заключение

Предложенная классификационная схема используемых типов автомобильных звукопоглощающих материалов и конструкций шумопоглощающих деталей с кратким анализом их структурных составов, а также приведенные некоторые практические приемы их модификационного структурирования могут быть полезны при

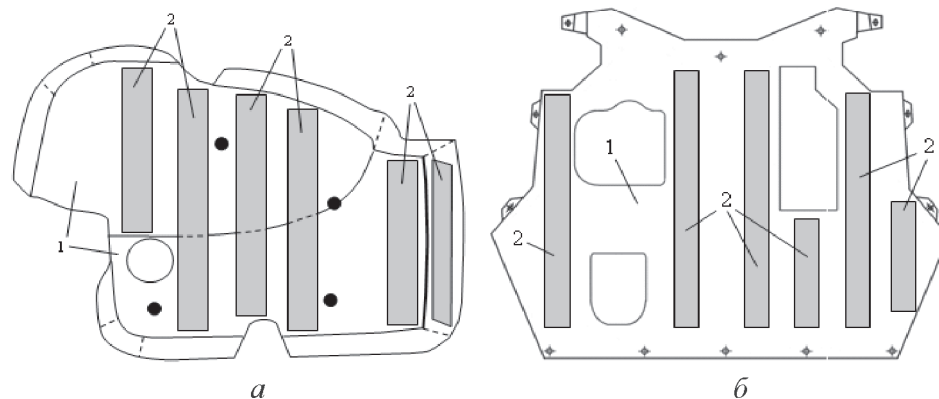


Рис. 7. Схема верхнего кожуха двигателя (а) и брызговика моторного отсека (б) автомобиля ВАЗ-2170 «Приора» (вид со стороны двигателя и моторного отсека соответственно) со смонтированными «узкополосными» шумопоглощающими панелями: 1 – несущая основа экранных элементов; 2 – «узкополосные» (малогабаритные) шумопоглощающие панели

проектировании или модернизации низкошумных конструкций автомобилей. Обширная библиография, входящая в статью, позволит специалистам получить исчерпывающую информацию по рассматриваемой тематике.

Список литературы

1. Боголепов И.И. Промышленная звукоизоляция. – Л.: Судостроение, 1986. – 368 с.
2. Борьба с шумом на производстве / Под ред. Е.Я.Юдина. – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.
3. Ионов А.В. Средства снижения вибрации и шума на судах. – СПб.: ГНЦ РФ «Центральный научно-исследовательский институт имени академика А. Н. Крылова», 2000. – 310 с.
4. Yamaguchi J. Global Viewpoints. Three Operating Modes of Mitsubishi's GDI V8 // Automotive Engineering International. 2000. March. P. 28.
5. Pearson B.A. New Low MDI Polyurethane Foam System for Acoustical Barrier Applications in the Automotive Industry // SAE Technical Paper Series. 1999. 1999-01-1671. P. 1–5.
6. Паньков Л.А. Звукопоглощающие и вибродемпфирующие материалы для легковых автомобилей // Автомобильная промышленность. 2005. № 8. С. 36–38.
7. Паньков Л.А. Звукопоглощающие и вибродемпфирующие материалы для легковых автомобилей // Автомобильная промышленность. 2005. № 12. С. 29–31.
8. Пат. РФ № 2282544. Транспортное средство / Л.А. Паньков // Бюл. № 24. 27.08.2006.
9. Пат. РФ № 2327887. Кожух двигателя внутреннего сгорания транспортного средства / М.И. Фесина, Е.В. Филин, А.В. Краснов, С.А. Рекунов // Бюл. № 18. 27.06.2008.
10. Пат. РФ № 52809. Шумопоглощающий брызговик моторного отсека транспортного средства / М.И. Фесина, Е.В. Филин, А.В. Краснов // Бюл. № 12. 27.04.2006.
11. Пат. РФ № 7391. Капот кузова автомобиля / М.И. Фесина, Е.В. Филин, О.В. Данилов, Т.Д. Аляпина // Бюл. № 8. 16.08.1998.
12. Пат. РФ № 40775. Транспортное средство / М.И. Фесина, И.В. Малкин, С.М. Ищенко // Бюл. № 16. 27.09.2007.
13. France demande de brevet d'invention N 2568342. Manchette de levier de vitesses de véhicules automobiles / T. Neunzig // Bull. N 5. 31.01.1986.
14. Internationale demande de brevet d'invention N 02/055342. Agencement pour la fixation d'un element d'insonorisation souple sur le tablier avant d'un vehicule automobile / S. Caffarri, M. Languillier, L. Leyrat. 18.07.2002.
15. Gillard P.H. Considerazioni sulla lotta preventiva contro il rumore nelle vetture da turismo, allo stadio di progetto // Unikeller Conference Proceeding. Parte 2. 1975. S. 13–31.
16. Фесина М.И., Краснов А.В., Паньков Л.А. Об одном из путей улучшения акустических характеристик отопительно-вентиляционной системы салона легкового автомобиля // Машиностроитель. 2007. № 8. С. 52–62.
17. Пат. РФ № 2150018. Воздухоочиститель двигателя внутреннего сгорания транспортного средства / М.И. Фесина, Е.В. Филин, С.П. Онищенко, Е.В. Лысенко // Бюл. № 15. 27.05.2000.
18. Пат. РФ № 2155274. Воздухоочиститель двигателя внутреннего сгорания транспортного средства / М.И. Фесина, А.В. Соколов // Бюл. № 24. 27.08.2000.
19. Goroncy J. Nützlich und schön // Automobil Industrie. 1999. N 10. S. 98–101.
20. Zipp T., Schmidt H. Design und Technik unter einem Hut // Kunststoffe. 2000. N 3. P. 124–127.
21. Пат. РФ № 52109. Кожух двигателя внутреннего сгорания транспортного средства / М.И. Фесина, Е.В. Филин // Бюл. № 7. 10.03.2006.
22. Thome J.-Ph. Top engine cover: a part of a comprehensive noise reduction system // 31-st ISATA Proceeding «Automotive Ergonomics and Safety». 1998. N 98SAF068. P. 287–297.
23. Weibel O. The Acoustical demands on integrated, multifunctional parts // Unikeller Conference Proceeding. 1989. E9. P. 1–7.
24. Wentzel R. E. VanBuskirk J. A Dissipative Approach to Vehicle Sound Abatement // SAE Technical Paper. 1999. N 1999-01-1668. P. 1–8.

25. Braunstein J. The Hard-Working Headliner: An Expanding Role // *Auto Interiors*. 2000. Vol. 7. N 6. P. 18–22.
26. Sonders S.L., Doerer R.P., Scott T.E. Engineering, Optimization, and Tuning of Vehicle Interior Sound Absorption and Other Mechanisms for Sound Reduction // *SAE Technical Paper Series* 1989. N 890234. P. 1–14.
27. Международный патент № 02066312. Leichtgewichtiges radlaufteil / U. Behrendt, D. Trapp. 29.08.2002.
28. Ernster S., Tudor J., Kathawate G. Acoustical Advantages of a New Polypropylene Absorption Material // *SAE Technical Paper*. 1999. N 1999-01-1669. P. 1–5.
29. Пат. РФ № 2081010. Деталь интерьера салона транспортного средства / Р.Н. Старобинский, М.И. Фесина, А.В. Соколов // *Бюл. № 16*. 10.06.1997.
30. Пат. Франции № 2897023. Coussin d'element de siege de vehicule automobile et procede de fabrication d'un tel cousin / O. Danilov, A.I. Mallet // *Бюл. 07/32*. 10.08.2007.
31. Jebasinski R., Absorptionsschalldmfer in Abgasanlagen // *ATZ*. 2000. N 1. S. 58–63.
32. Пат. РФ № 2268374. Глушитель шума выхода двигателя внутреннего сгорания / М.И. Фесина, Р.Н. Старобинский // *Бюл. № 2*. 20.01.2006.
33. Пат. РФ № 2292467. Глушитель шума выпуска двигателя внутреннего сгорания / А.Н. Афанасьев, В.В. Галевко, Ю.В. Галевко, Т.В. Иванова // *Бюл. № 3*. 27.01.2007.
34. Briel P.V. The Design of Absorbers without Formulae // *15th International Congress on Acoustics Trondheim, Norway*, 1995. Vol. 2. P. 405–408.
35. Lдcher gegen Lдрm // *Automobil-Produktion*. 2006. N 6. S. 79.
36. Пат. РФ № 2033349. Транспортное средство / М.И. Фесина, Р.Н. Старобинский, А.В. Соколов // *Бюл. № 11*. 20.04.1995.
37. Godano P., Wildhaber A., Marsch R., Roth H. Exterior Resistant Absorber: a light, low packaging space and high performance absorber for exterior applications // *Rieter Automotive Conference Proceeding*. 2005. P9. P. 1–10.
38. Viktorovitch M. Acoustics of a modular engine bay encapsulation integrating a porous air intake system // *Rieter Automotive Conference Proceeding*. 2007. A11. P. 1–18.
39. Bshorr O., Laudien E. The silator – a small volume resonator // *J. Sound and Vibration*. 1992. № 1. P. 81–92.
40. А. с. СССР №595768. Устройство для поглощения звука / А.А. Иванов, Ю.Н. Дубонин, Б.П. Лоптов, В.Б. Федосеев, В.Ф. Иванов // *Бюл. № 8*. 02.07.1975.
41. Deutsche Offenlegungsschrift 3311905. Schalldдmmende Matte / Kobe M.; Offenlegungstag 11.10.1984.
42. Фесина М.И., Краснов А.В., Паньков Л.А. Практические приемы разработок шумопонижающих панелей моторных отсеков транспортных средств с повышенной звукопоглощающей способностью // *Изв. Самарского научного центра РАН: Спец. вып. «Безопасность. Технологии. Управление»*. Т. 2. – Самара, 2007. С. 177–183.
43. Пат. РФ № 2265251. Многослойная шумопоглощающая панель / Л.А. Паньков // *Бюл. № 33*. 27.11.2005.
44. Alts, T. The significance of anisotropy for the acoustical effectiveness of visco-elastic foams // *Unikeller Conference*. 1989. E8. P. 1–14.