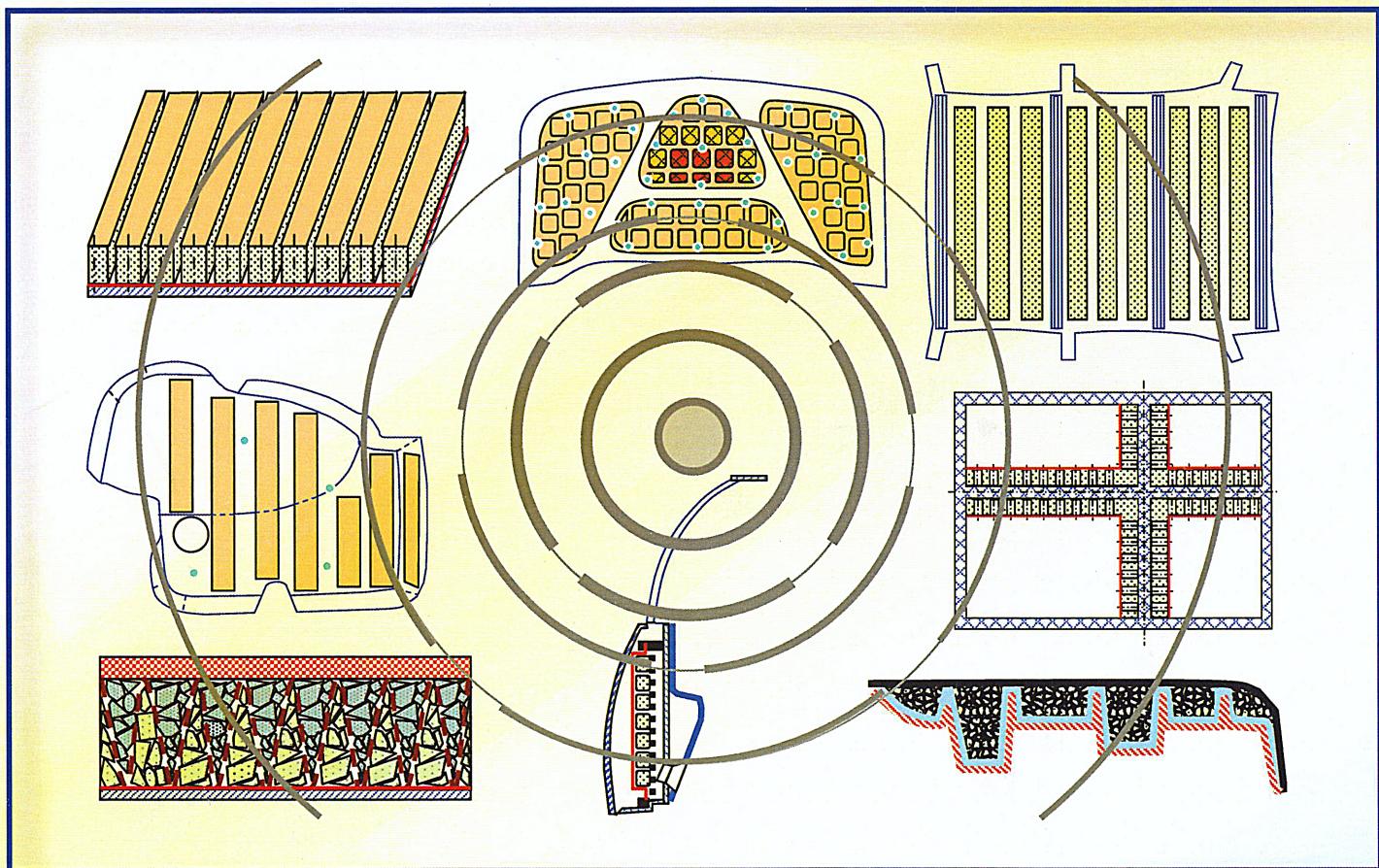


М.И. Фесина, А.В. Краснов, Л.Н. Горина

**ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ  
ПОВЫШЕНИЯ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ  
СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ  
И КОНСТРУКЦИЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Учебно-методическое пособие



Тольятти  
Издательство ТГУ  
2012

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет  
Институт машиностроения  
Кафедра «Управление промышленной и экологической безопасностью»

М.И. Фесина, А.В. Краснов, Л.Н. Горина

**ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ  
ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ  
И КОНСТРУКЦИЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Учебно-методическое пособие

Тольятти  
Издательство ТГУ  
2012

УДК 628.517.2

ББК 3.39.33-04

Ф44

Рецензенты:

научный руководитель консалтинг-бюро

«Prof. R. Starobinski. Silencers. Consulting and engineering»,

д. т. н., профессор *P.H. Старобинский*;

к. п. н., доцент Тольяттинского государственного университета

*Н.Е. Данилина.*

**Ф44** Фесина, М.И. Практические приемы повышения звукопоглощающих свойств материалов и конструкций деталей машин: учеб.-метод. пособие / М.И. Фесина, А.В. Краснов, Л.Н. Горина. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2012. – 228 с. : обл.

В учебно-методическом пособии рассмотрены разнообразные практические приемы повышения звукопоглощающих свойств пористых (волокнистых, вспененных открытоячеистых) материалов, используемых в конструктивных элементах деталей, узлов, механизмов и систем шумоактивных машин, составленные исключительно на примерах собственных технических разработок авторов пособия, защищенных патентами на изобретения и полезные модели.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 280700 «Техносферная безопасность», 141100 «Энергетическое машиностроение» и 190100 «Наземные транспортно-технологические средства», аспирантов вузов, инженерно-технических и научных работников, повышающих свой образовательный и профессиональный уровень в области промышленной акустики и специализирующихся в направлении разработок низкошумных технических объектов.

УДК 628.517.2

ББК 3.39.33-04

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

**Звукопоглощающее свойство** – способность (физическое свойство) внутренних структур материалов и/или конструкций деталей в составе функционирующего звукогенерирующего узла (агрегата, системы, машины) эффективно рассеивать (поглощать) энергию звуковых волн, распространяющихся в упругой (воздушной) среде, путем ее необратимого преобразования в тепловую энергию с достижением конечного эффекта уменьшения уровня звука. Реализует механизм подавления воздушной составляющей шумового излучения технических объектов (произведенного колеблющимися твердыми структурами стенок деталей, газодинамическими пульсациями, турбулентными вихреобразующими аэродинамическими процессами истечения и обтекания твердых неоднородностей и т. п.). Соответственно, *звукопоглощающие материалы и конструкции* представляют собой элементы (объекты), обладающие звукопоглощающими свойствами.

В перечне эффективных методов и средств уменьшения шумового излучения, производимого различными техническими объектами (транспортными средствами, энергетическими установками, инженерным производственно-технологическим оборудованием, бытовой техникой), особое место занимают звукопоглощающие материалы. Их используют в качестве конструкционных материалов деталей узлов и систем, содержащих в своем составе интегрированные звукопоглощающие элементы, представленные в виде оригинальных конструкций панелей облицовок, поверхностных футеровок, экранов, кожухов, набивок полостей расширительных и резонаторных камер глушителей шума, систем впуска и выпуска двигателей внутреннего сгорания (ДВС), систем отопления, вентиляции, кондиционирования кабин водителя (пассажирского помещения) транспортных средств и т. д. В настоящее время разработчиками конструкций автомобилей, промышленного оборудования и бытовой техники все большее внимание уделяется вопросам многофункциональности деталей и узлов, в обязательный перечень которых включают и выраженные акустические свойства эффективного звукопоглощения. Это в конечном итоге позволяет разрабатывать, производить и эксплуатировать более низкошумные технические объекты, удовлетворяющие ужесточенным требованиям экологических стандартов, обладающие повышенным акустическим комфортом, улучшенными потребительскими, стоимостными и конкурентными качествами.

В отличие от ранее опубликованных работ по данной теме [2, 27, 88–91], в которых приводятся примеры расчетов оценочных физических характеристик виброакустических полей, формируемых механизмами и системами машин, в представленном учебно-методическом пособии сделан упор на развитие у обучающихся определенных практических навыков конструирования виброшумокомфортных технических объектов, преимущественно на примерах автотранспортных средств (АТС), базирующихся на использовании известных инновационных технических решений, защищенных

патентами на изобретения и полезные модели. В таких случаях можно рассматривать, анализировать и использовать уже накопленный мировой практический опыт разработок конкретных технических объектов, отраженный в технических описаниях патентов, содержащихся в информационных базах отечественного, европейского и международного патентных фондов. С этой целью в 12 разделе пособия приведена подробная технологическая процедура поиска тех или иных технических аналогов предстоящей разработки, ведущаяся по классам (подклассам, группам, подгруппам). При этом доступность и оперативность получения сведений из обширной информационной базы является беспрецедентной, так как они выкладываются буквально в день публикации (на серверах Федерального института промышленной собственности РФ, Европейской базы патентных данных, международной базы патентных данных).

Данное издание не противопоставляется вышеупомянутым известным учебным пособиям, а органично их дополняет, на основании чего можно сформировать и разработать рациональную конструктивно-технологическую концепцию технического объекта, наделенного улучшенными вибраакустическими качествами, подтверждаемую необходимым объемом расчетных выкладок, заимствованных из тех или иных специализированных литературных источников (учебников, монографий, статей, сборников научных трудов). Таким образом, учащийся (студент, аспирант, технический специалист-разработчик) сможет в наиболее полной мере решить поставленную перед ним техническую проблему.

Описанные в пособии основные механизмы и технические направления повышения звукопоглощающих свойств материалов и разработки эффективных шумопонижающих элементов машин (преимущественно – АТС) рекомендовано осуществлять различными конструктивно-технологическими приемами, которые базируются на собственных разработках авторов пособия, защищенных патентами на изобретения и полезные модели (общее число которых превышает 450). Некоторые из них представлены в виде фрагментальных графических иллюстраций. В 12 разделе приведен перечень, состоящий более чем из 1800 патентов на изобретения и полезные модели отечественных и зарубежных авторов, заявленных ведущими разработчиками и производителями звукопоглощающих материалов и конструкций. С помощью технологической процедуры поиска о них может быть получена подробная информация, которую в той или иной степени можно учесть и реализовать при создании собственной оригинальной разработки.

# 1. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРУКТУР АКУСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ПОЛНОМАСШТАБНЫХ ДЕТАЛЕЙ АТС

## 1.1. Методы исследований внутреннего шума АТС

Дорожные акустические испытания АТС проводятся на специальных дорогах автополигонов (испытательных треков) или на качественных покрытиях дорог общего пользования, соответствующих требованиям ГОСТ Р 51616-2000 [1]. Для испытаний выбирается прямолинейный (сухой, гладкий и чистый) участок дороги с асфальтобетонным покрытием. Продольный уклон измерительного участка не должен превышать 1%. На расстоянии 20 м от продольной оси измерительного участка не должны находиться крупные звукоотражающие объекты. Уровень шумовых помех на открытом пространстве в зоне измерительного участка должен быть не менее чем на 15 дБА ниже измеряемых уровней шума объекта испытаний (АТС). Если это условие не соблюдается, следует внести поправку уровня шумовых помех по ГОСТ 12.1.026 [2]. Испытания проводят при отсутствии атмосферных осадков, атмосферном давлении 760 мм рт. ст. с допустимым отклонением  $\pm 5\%$ . Температура окружающего воздуха должна находиться в диапазоне  $-10\ldots+30^{\circ}\text{C}$ , скорость ветра на высоте 1,2 м от поверхности измерительного участка не должна превышать 5 м/с.

Измерения уровней шума (расположение измерительных микрофонов) в пассажирском помещении легкового автомобиля проводятся в плоскости продольной оси автомобиля на уровне органов слуха водителя и переднего пассажира (точка *Б* по ГОСТ Р 51616-2000, далее – контрольная точка 1), а также органов слуха задних пассажиров (точка *А* по ГОСТ Р 51616-2000, далее – контрольная точка 2). При этом микрофон в контрольной точке *Б* должен быть смещен от оси симметрии сидения водителя на 0,2 м в направлении центральной продольной оси автомобиля. Расстояние от измерительного микрофона до близлежащих стенок ограждающих поверхностей пассажирского помещения или тела испытателя, проводящего измерения, должно быть не менее 0,15 м. Измерительный микрофон располагают горизонтально, а его ось максимальной чувствительности ориентируется в направлении движения автомобиля.

Испытания проводят при двух режимах движения АТС: интенсивном разгоне и движении с постоянными скоростями. При испытаниях на режиме интенсивного разгона автомобиля, оборудованного механической КП (имеющей ручное управление), включается наиболее высокая передача (не ниже третьей, если КП имеет четыре и более передач, и не ниже второй, если КП имеет менее четырех передач), обеспечивающая движение АТС со скоростью, не превышающей 120 км/ч, при частоте вращения коленчатого вала двигателя, равной 90% его режима максимальной мощности. Испытания проводят на выбранной передаче, начиная со скорости (частоты вращения коленвала двигателя),

соответствующей 45% скоростного режима (частоте вращения коленвала двигателя) максимальной мощности двигателя, и заканчивая на скорости (частоте вращения коленвала двигателя), соответствующей 90%. При испытаниях АТС, оборудованного автоматической коробкой передач, приводимого в движение с помощью электродвигателя, или при наличии в его конструкции ограничителя скорости режимы испытаний имеют некоторые особенности (подробно см. ГОСТ Р 51616-2000).

При акустических испытаниях на режиме движения АТС с постоянными скоростями измерения уровней шума проводят на высшей передаче в диапазоне изменения скоростей, начиная с 60 км/ч или 40% максимальной скорости АТС, до скорости, соответствующей 80% максимальной, но не более 120 км/ч. Измерения проводят при различных значениях постоянных скоростей, как правило, при 60, 80, 100, 120 км/ч. За результат измерения в режиме интенсивного разгона принимают максимальное значение общего уровня шума, зарегистрированное в процессе разгона АТС, в то время как в режиме движения с постоянными скоростями – усредненное по времени проведения измерения значение общего уровня шума на данном скоростном режиме. Допустимые общие уровни шума для каждого типа АТС определяются значениями, представленными в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Допустимые уровни внутреннего шума АТС

Автомотранспортное средство	Допустимые уровни звука, дБА	
	до 01.01.2014 г.	после 01.01.2014 г.
<i>Автомобили и автобусы для перевозки пассажиров</i>		
Категория М <sub>1</sub>	78	77
Категория М <sub>1</sub> (вагонная или полукапотная компоновка кузова)	80	79
Категории М <sub>2</sub> , М <sub>3</sub>		
– на рабочем месте водителя	78	77
– в пассажирском помещении автобусов классов В, II и III	80	79
– в пассажирском помещении автобусов класса А и I	82	81
Категории М <sub>2</sub> , М <sub>3</sub> с расположением двигателя спереди или в зоне рабочего места водителя, в том числе вахтовые и другие специальные автобусы, изготовленные на шасси грузовых автомобилей	80	79
<i>Автомобили для перевозки грузов</i>		
Категория N <sub>1</sub> полной массой до 2 т	80	79
Категория N <sub>1</sub> полной массой от 2 до 3,5 т	82	81
Категории N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub>	82	81
Категории N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub> (седельные тягачи, грузовые автомобили (при наличии спального места)	80	78
Полуприцепы, предназначенные для перевозки пассажиров	80	79
<i>Троллейбусы</i>		
– на рабочем месте водителя	78	77
– в пассажирском помещении	82	81
Транспортные средства с пневматическим приводом управления тормозными системами при истечении воздуха из пневмоаппаратов в кабину (пассажирское помещение) после их срабатывания		70

*Примечания:*

1. Для автотранспортных средств повышенной проходимости категории М<sub>1</sub>Г по ГОСТ Р 52051 допускается превышение допустимых уровней звука не более чем на 2 дБ(А).

2. Для полноприводных автотранспортных средств повышенной проходимости категорий  $M_2G$ ,  $M_3G$ ,  $N_1G$ ,  $N_2G$ ,  $N_3G$  по ГОСТ Р 52051 допускается с 01.01.2014 г. превышение допустимых уровней звука не более чем на 1 дБ(А).

3. Для автотранспортных средств категории  $M_1$  полной массой до 2 т с удельной мощностью на единицу массы более 75 на режиме разгона допускается превышение допустимых уровней звука не более чем на 4 дБ(А). Для автотранспортных средств категории  $M_1$  с удельной мощностью на единицу массы более 125 допустимые уровни звука устанавливаются для испытательного режима движения на постоянной скорости.

В случае если значения уровней звука, измеренные на режиме разгона, превышают допустимые значения, приведенные в таблице, они должны быть указаны в эксплуатационной документации, прикладываемой к автомобилю (например, в Руководстве по эксплуатации).

4. Автотранспортные средства, приведенные в примечании, не могут находиться в общественном пользовании (например, такси), что также указывается в сопроводительной документации на автомобиль, представляемый покупателю (например, в «Руководстве по эксплуатации»).

5. Для автотранспортных средств специального назначения (автомобиль-дом, бронированное транспортное средство, автомобиль для ритуальных услуг, транспортное средство медицинской помощи и др.) категорий  $MC$  и  $NC$ , построенных на базе  $TC$  категории  $M$ , уровень звука не должен превышать допустимых уровней, установленных для базового транспортного средства.

6. Для автотранспортных средств специального назначения (бронированное транспортное средство, автомобиль для ритуальных услуг и др.) категорий  $NC$ , изготавливаемых на базе  $TC$  категории  $N$ , уровень звука не должен превышать 80 дБ(А), а с 01.01.2014 г. – 79 дБ(А).

7. При проведении инспекционных испытаний сертифицированного типа автотранспортного средства допускается превышение допустимых уровней звука не более чем на 1 дБ(А).

При проведении исследовательских работ с углубленным изучением шумовых излучений на указанных режимах и при условиях, которые определяются конкретными программами испытаний и целями проведения работ (в том числе с целью оценки эффективности вводимых шумопонижающих мероприятий), дополнительно проводится оценка 1/3-октавных спектров уровней шума в диапазоне частот 20...20000 Гц, узкополосных спектров уровней звуковых давлений в диапазоне частот 20...625 Гц, индекса артикуляции  $IA$  (в%).

Показатель «индекс артикуляции» ( $IA$ ) характеризует акустические (шумовые) помехи восприятия речи в кабине (пассажирском помещении) автомобиля. Данный показатель был разработан на основе статистических исследований, заключающихся в составлении спектральной композиции человеческого голоса в ходе обычного (без повышения громкости) разговора. Данный показатель рассчитывается на основе анализа 1/3-октавного спектра уровней звукового давления.

В качестве примеров на рис. 1.1 и 1.2 приведены некоторые результаты измерений общих уровней внутреннего шума легковых автомобилей В и С классов. Результаты приведенных испытаний свидетельствуют, о том что общие уровни шума исследованных моделей легковых автомобилей находятся в широких динамических диапазонах: 71,2...78,3 дБА – при режиме, нормируемом ГОСТ Р 51616 (режим интенсивного разгона), 67,4...72,3 дБА – при режиме движения с постоянной скоростью 100 км/ч на 5-й передаче КП.

Полученные результаты испытаний иллюстрируют соответствие данных моделей автомобилей требованиям ГОСТ Р 51616 при нормируемом режиме интенсивного разгона (78+1 дБА). Также важным выводом, который следует из полученных результатов испытаний, является выявленный потенциальный резерв улучшения акустического комфорта в пассажирском помещении легковых автомобилей из соотношения уровней шума «шумных» и «тихих» моделей автомобилей одного и того же класса (категории).

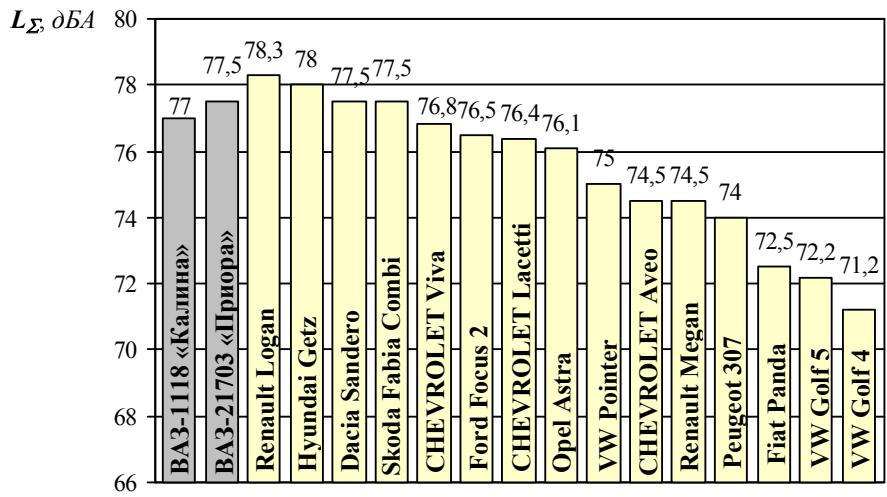


Рис. 1.1. Результаты измерений максимальных значений (замеренных в контрольных измерительных точках 1 и 2 пассажирского помещения) общих уровней внутреннего шума легковых автомобилей В и С классов при нормируемом режиме интенсивного разгона (ГОСТ Р 51616-2000)

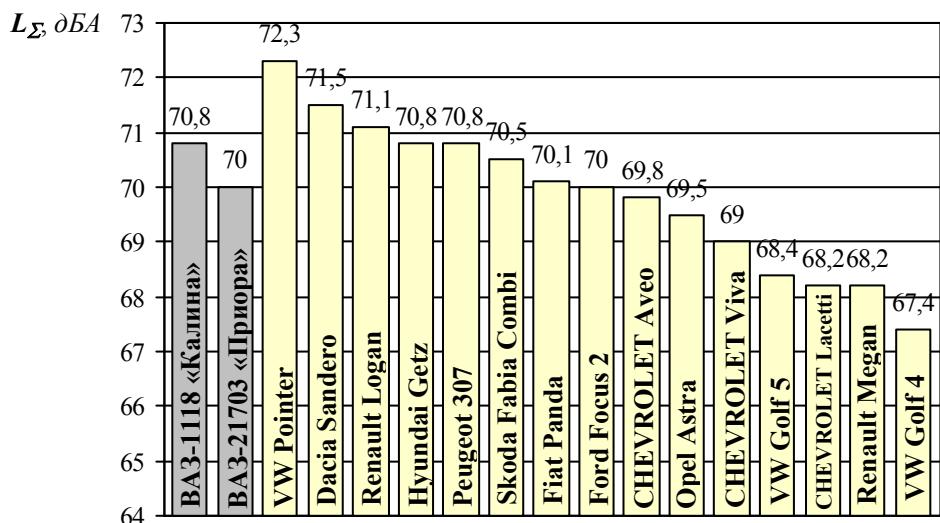


Рис. 1.2. Результаты измерений максимальных значений (замеренных в контрольных измерительных точках 1 и 2 пассажирского помещения) общих уровней внутреннего шума легковых автомобилей В и С классов при режиме движения на 5-й передаче КП с постоянной скоростью 100 км/ч

Измерения внутреннего шума АТС, производимого работающим модулем отопительно-вентиляционной системы (OBC), проводятся как при штатных (серийных) комплектациях OBC (смонтированных в составе товарных образцов АТС), так и при оценках эффективности разработанных конструктивно-технологических шумопонижающих мероприятий, при проведении НИР и ОКР [3]. В связи с этим исследуемый образец АТС может, например, устанавливаться в большой полубезэховой акустической камере или (при ее отсутствии) на открытом пространстве. Измерения проводятся в контрольной измерительной точке 1 (на уровне органов слуха водителя и переднего пассажира) на двух режимах испытаний (A и B). При режиме A двигатель АТС работает на оборотах холостого хода, электровентилятор модуля OBC запиты-

вается от бортовой сети АТС. Замеры виброакустических параметров производятся на всех скоростных режимах во всех направлениях подачи и всасывания воздуха, реализуемых на данной конструкции модуля ОВС. При режиме испытаний *B* двигатель АТС не работает, электровентилятор модуля ОВС запитывается от внешнего (автономного) источника питания стабилизированным напряжением, реализующим аналогичные режиму испытаний *A* скоростные и функциональные характеристики работы модуля ОВС (рис. 1.3).

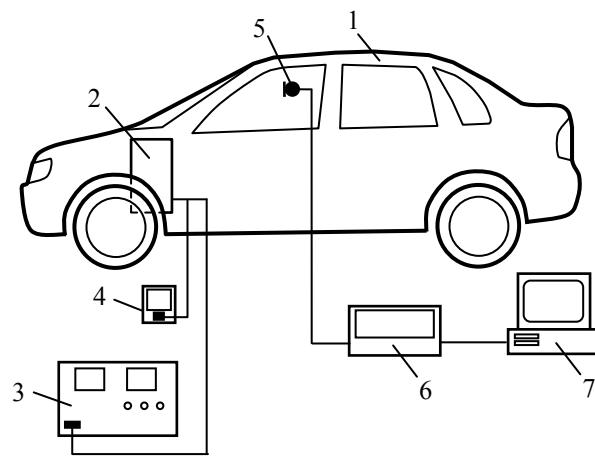


Рис. 1.3. Блок-схема измерений акустических параметров ОВС в составе легкового автомобиля: 1 – исследуемый образец автомобиля; 2 – исследуемый образец модуля ОВС; 3 – внешний источник питания; 4 – цифровой вольтметр; 5 – измерительный микрофон; 6 – частотный анализатор; 7 – компьютер со специальным программным обеспечением

Оценка внутреннего шума, генерируемого работающим модулем ОВС, производится на основе анализа 1/3-октавных спектров уровней шума (в диапазоне частот 20...20000 Гц), общих уровней шума в дБА (в диапазоне частот 20...20000 Гц), узкополосных спектров (ширина полосы 1 Гц) уровней звуковых давлений (в характерном низкочастотном диапазоне 20...625 Гц), индексов артикуляции ИА (в%).

Исследование аэродинамического внутреннего шума (аэроакустические испытания) АТС проводятся в полномасштабной аэродинамической трубе (ПАДТ) замкнутого типа (рис. 1.4), обеспечивающей низкошумный обдув объекта исследований равномерным воздушным потоком заданной скорости. ПАДТ содержит центробежный вентилятор 1, поворотные лопатки (делители потока) 2, тракт передачи и рециркуляции 3, входное сопло 4. Исследуемый образец АТС 5 неподвижно устанавливается в рабочей зоне 6 ПАДТ, на специальных опорных площадках аэродинамических весов 7. Уровень акустических помех при неработающей ПАДТ в ее рабочей зоне (при отсутствии воздушного потока) не должен превышать 30 дБА, температура воздуха устанавливается равной +20° С. Испытания АТС (легкового автомобиля) проводятся на режимах обдува набегающим воздушным потоком, движущимся с постоянными скоростями 60, 80, 100, 120, 180 км/ч. Измерения уровней шума в салоне автомобиля проводятся в штатных контрольных измерительных точках 1 и 2 (*B* и *A* – по ГОСТ Р 51616-2000). При проведении аэроакустических испытаний легкового автомобиля все дефлекторные элементы входных отверстий в пассажирский салон и за-слонка рециркуляции модуля ОВС устанавливаются в закрытое положение.

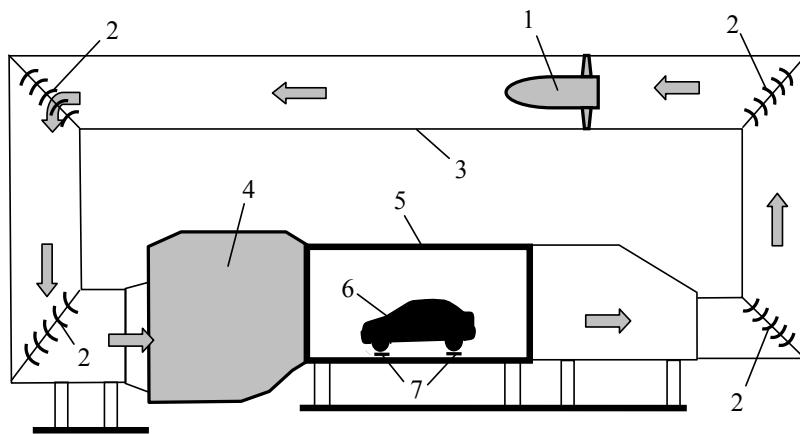


Рис. 1.4. Схема полномасштабной аэродинамической трубы, применяемой при исследованиях внутреннего аэродинамического шума АТС: 1 – вентилятор; 2 – поворотные лопатки (делители потока); 3 – тракт передачи и рециркуляции; 4 – рабочее сопло; 5 – рабочая зона; 6 – исследуемый образец АТС; 7 – опорные площадки аэродинамических весов

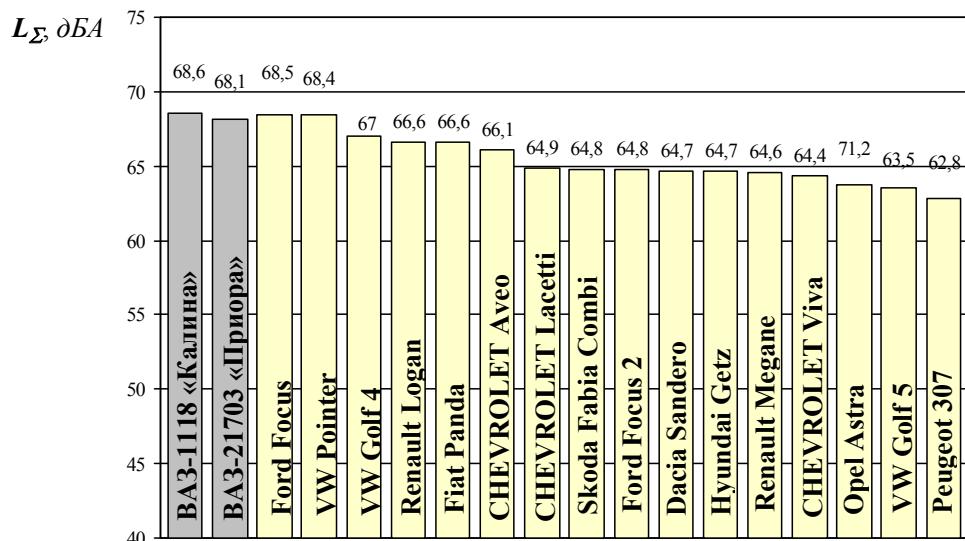


Рис. 1.5. Результаты измерения максимальных значений (по контрольным точкам 1 и 2) общих уровней аэродинамического шума легковых автомобилей В и С классов, при скорости обдува потоком воздуха 100 км/ч

Оценка уровней аэродинамического внутреннего шума производится на основе анализа 1/3-октавных спектров уровней шума (в диапазоне частот 20...20000 Гц), общих уровней шума в дБА (в диапазоне частот 20...20000 Гц), индекса артикуляции *ИА* (%).

Данный вид испытаний представляет технический интерес, прежде всего с точки зрения акустической (звукозащитной) оценки уплотнительных узлов боковых и задней дверей, перекрытия (блокировки) передачи аэродинамического шума в салон автомобиля через незакрытые отверстия и щелевые зоны панелей кузова, шума, распространяющегося по пустотелым коробчатым конструкциям порогов, стоек, лонжеронов, усилителей, а также с точки зрения исследования (и последующей аэроакустической доводки) конструктивных элементов экстерьера автомобиля, генерирующих собственное шумовое излучение набегающим воздушным потоком (зеркала заднего вида, антенны, стойки А и т. д.).

В качестве некоторых иллюстративных примеров на рис. 1.5 представлены результаты аэроакустических испытаний легковых автомобилей В и С классов.

## 1.2. Методы исследований внешнего шума АТС

**Измерение уровней внешнего шума движущегося легкового автомобиля** проводится согласно требованиям правил ЕЭК ООН R 51-02 и ГОСТ Р 41.51-2004 [4]. Для проведения испытаний используют горизонтальный 20-метровый участок асфальто- или цементобетонной дороги с продольным уклоном не более 1%. В радиусе 50 м от середины измерительного участка не должно находиться крупных звукоотражающих объектов. Требования к покрытию измерительного участка регламентированы стандартом ISO-10844 [5]. В частности, согласно требованиям указанного стандарта регламентируется остаточная пористость смеси для покрытия измерительного участка, которая не должна превышать 8%. В случае несоответствия, определяющим параметром является нормальный коэффициент звукопоглощения образца дорожного покрытия, величина которого не должна превышать 0,1. Шероховатость, измеренная по методу объемного анализа, должна быть не менее 0,4 мм. Также стандартом регламентируются требования к однородности покрытия по площади испытательной площадки, составу покрытия и технологии его подготовки. Погодные условия и требования к окружающему шумовому фону, приемлемые для проведения испытаний по данному стандарту, аналогичны изложенным выше в ГОСТ Р 51616.

Измерения (расположение измерительных микрофонов) проводятся на измерительном участке на расстоянии 7,5 м от контрольной продольной линии СС' (рис. 1.6) и на высоте 1,2 м над поверхностью дорожного покрытия. Ось максимальной чувствительности измерительного микрофона ориентируют перпендикулярно к продольной оси автомобиля (линия СС'). На измерительном участке проводят линии АА' и ВВ', параллельные линии РР', расположенные соответственно на 10 м впереди и позади этой линии.

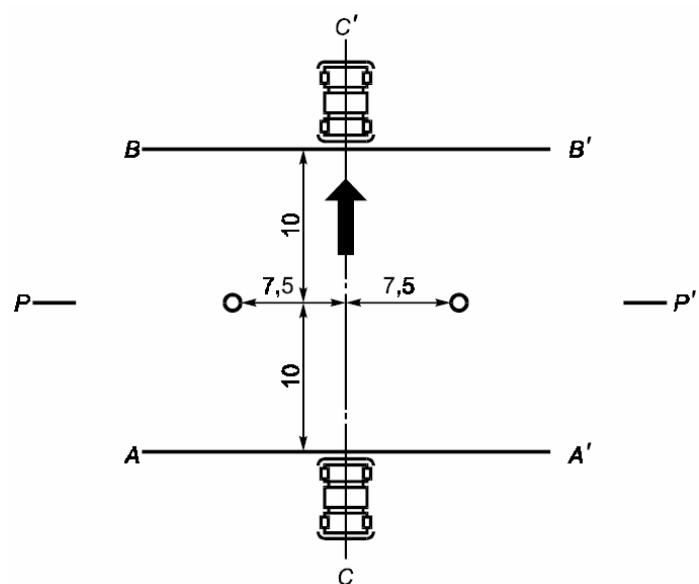


Рис. 1.6. Схема измерительного участка при измерении внешнего шума АТС:  
АА' и ВВ' – начало и конец измерительного участка; СС' – осевая линия  
движения автомобиля; РР' – микрофонная линия

АТС категорий  $M_1$  и  $N_1$ , оборудованные механическими КП с четырьмя или менее передачами переднего хода, испытывают на второй передаче.

В случае если КП испытываемого АТС имеет более четырех передач переднего хода, испытания проводят последовательно на второй и третьей передаче. При испытаниях АТС движется по прямой линии по направлению к измерительному участку (АА'-ВВ') таким образом, чтобы центральная плоскость продольного сечения АТС находилась как можно ближе к линии СС' и приближалась к линии АА' с постоянной скоростью, как указано ниже. АТС приближается к началу измерительного участка с установленной скоростью, соответствующей частоте вращения коленчатого вала двигателя, равной 0,75 от номинальной, или, если она превышает скорость 50 км/ч – движется со скоростью, равной 50 км/ч. Процесс измерения уровней внешнего шума АТС производится при интенсивном разгоне автомобиля на измерительном участке, ограниченном линиями АА' и ВВ' при его движении в двух направлениях. В момент, когда передняя часть АТС пересекает линию АА', испытатель (водитель) резко доупора открывает дроссельную заслонку бензинового двигателя (рейку топливного насоса – дизельного двигателя) и удерживает ее в этом положении до тех пор, пока задняя часть АТС не пересечет линию ВВ', затем заслонка резко закрывается. Соответственно, при движении в обратном направлении – разгон АТС начинается с линии ВВ' и заканчивается на линии АА'. В процессе испытаний регистрируются максимальные значения общего уровня шума в дБ(А) во всем диапазоне разгона АТС на 20-метровом участке АА'-ВВ'. В случае проведения измерений на двух передачах КП замеренные максимальные значения общих уровней внешнего шума округляются до десятых долей, затем суммируются и определяется их среднеарифметическое значение. Процедуры испытаний легковых автомобилей, не относящихся к категориям  $M_1$  и  $N_1$ , использующие вспомогательные трансмиссионные агрегаты, а также АТС, оборудованные автоматической КП (в том числе и без ручного селектора выбора передач), имеют ряд особенностей выбора режимов испытаний (см. ГОСТ Р 41.51-2004).

Для исключения погрешности измерений уровней шума, вносимой измерительным прибором, проводимых согласно требованиям ГОСТ Р 41.51-2004, от рассчитанного среднеарифметического значения вычитают 1 дБА. При исследованиях эффективности вводимых тех или иных шумопонижающих мероприятий, как правило, оценивают шумопонижающие эффекты не только по значениям общих уровней шума, но и дополнительно проводится оценка 1/3-октавных спектров уровней шума в диапазоне частот 20...20000 Гц. Результаты измерения уровней внешнего шума некоторых моделей легковых автомобилей В и С классов представлены на рис. 1.7.

ГОСТ Р 41.51-2004 (являющийся аналогом правил № 51-02 ЕЭК ООН) предусматривает также процедуру измерений шума, производимого неподвижным АТС. Указанная процедура выполняется для облегчения последующих контрольных проверок находящихся в эксплуатации АТС (согласно ГОСТ Р 52231-2004). Как правило, наиболее проблематичным (неустойчивым в процессе эксплуатации автомобиля, включая его выход из строя) является шумовое излучение, производимое системой выпуска отработанных газов – наиболее интенсивным источником шума АТС при потерях шумозаглушающих свойств глушителями. В этих случаях регистрируют общие уровни шума вблизи открытого среза концевой трубы выпускной системы (в 0,5 м от среза трубы по  $45^\circ$  к ее оси) и результаты измерений вносят в протокол. Более подробно данная методика изложена далее.

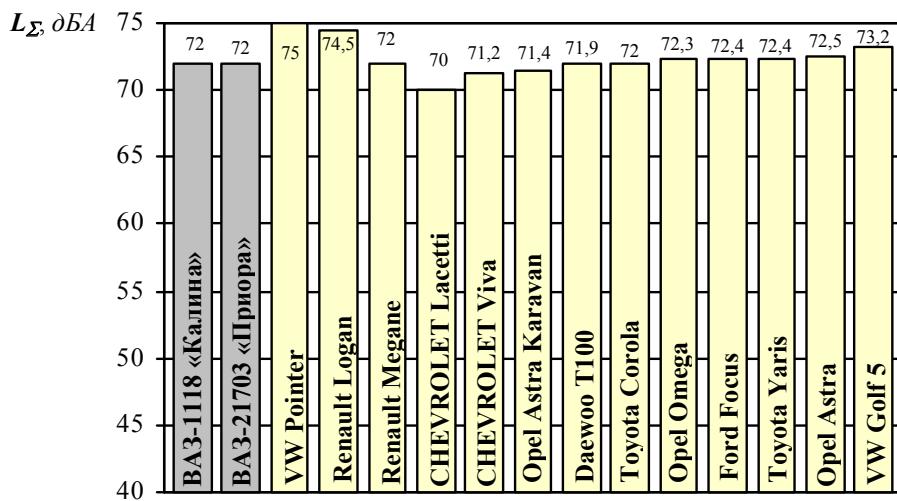


Рис. 1.7. Результаты измерения общих уровней внешнего шума легковых автомобилей В и С классов

**Методика измерения внешнего шума на неподвижном АТС.** Вследствие того что современные высокоэффективные конструкции глушителей систем выпуска отработавших газов ДВС в подавляющем большинстве предусматривают применение волокнистых звукопоглощающих материалов в отдельных элементах (резонаторных и/или расширительных камерах глушителей), в процессе эксплуатации АТС возможно их частичное выдувание и/или закоксовывание твердыми частицами и конденсатным веществом, содержащимися в проходящих через глушители выхлопных газах. Таким образом, возможна частичная (зачастую – весьма значительная) потеря шумозаглашающих свойств таких конструкций глушителей. Также возможны случаи эксплуатации АТС с вышедшими из строя (поврежденными) глушителями шума. В результате, эксплуатируемые в населенных пунктах АТС могут создавать весьма значительное беспокоящее население шумовое излучение. В связи с этим международными нормами (Правила № 51 ЕЭК ООН) и отечественным стандартом (ГОСТ Р 52231-2004) регламентируются уровни шума, замеряемые в зоне открытого среза концевого участка трубы системы выпуска отработавших газов. Данный метод контроля является упрощенным и предназначен для быстрого определения и исключения из процесса эксплуатации АТС, производящих дефектное шумовое излучение на селитебных территориях населенных пунктов (производится соответствующими контролирующими надзорными органами).

Измерения уровня шума проводят на неподвижном АТС, установленном на горизонтальной площадке с асфальто- или цементобетонным покрытием. На расстоянии 3 м от АТС не должно быть крупных звукоотражающих объектов (рис. 1.8,а). При измерениях микрофон устанавливают над поверхностью площадки на высоте концевого участка выпускной трубы глушителя, но не ниже 0,2 м, который размещают на расстоянии 0,5 м от среза выпускной трубы. Главная ось микрофона должна быть параллельна поверхности площадки и должна составлять угол 45° с вертикальной плоскостью, проходящей через ось концевого участка выпускной трубы глушителя (рис. 1.8,б). При измерении шума рычаг переключения передач КП переводится в нейтральное положение, а сцепление – выключается. При работе двигателя в режиме холостого хода с

минимальной частотой вращения нажимают на педаль управления подачей топлива (далее – педаль) и устанавливают постоянную частоту вращения коленчатого вала, составляющую 0,75 от номинальной. После достижения постоянной частоты вращения педаль подачи топлива быстро переводят в положение, соответствующее минимальной подаче. Измеряют максимальное значение уровня шума на режиме работы двигателя как с установленной постоянной повышенной частотой вращения, так и во время периода замедления вращения коленчатого вала, которое принимается за результат измерений и вносится в протокол.

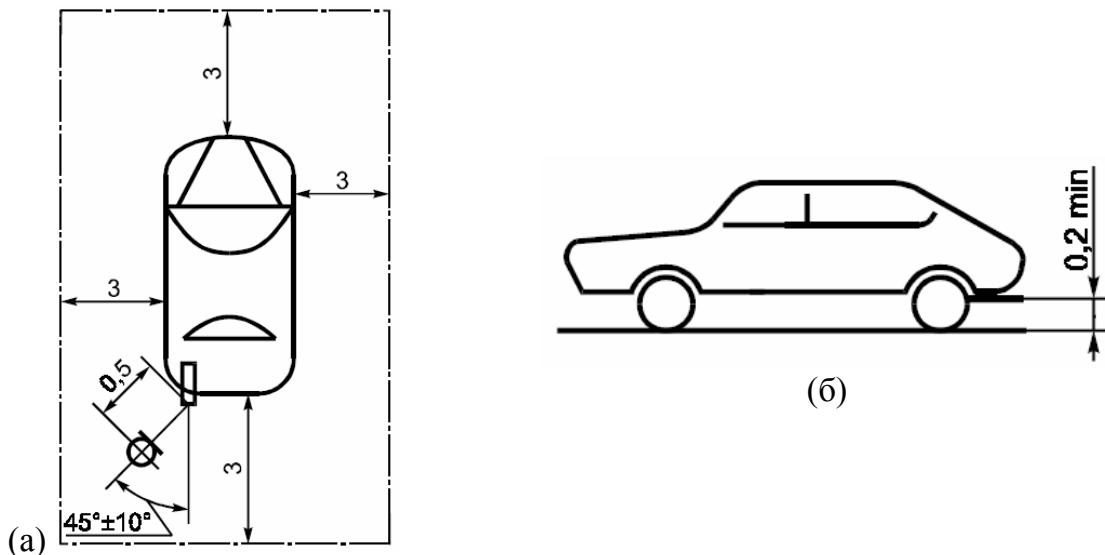


Рис. 1.8. Схема измерения внешнего шума на неподвижном АТС

### 1.3. Методы расчетно-экспериментальных исследований звукопоглощающих свойств структур акустических материалов и полномасштабных деталей

Звукопоглощающие свойства образцов материалов и полномасштабных деталей шумопонижающих комплектов АТС оцениваются реверберационным методом с использованием лабораторно-стендовой установки «Кабина Альфа».

Реверберационный метод основан на использовании малогабаритной реверберационной камеры – лабораторно-стендовой установки «Кабина Альфа» (рис. 1.9). Объем камеры «Кабина Альфа» составляет  $6.45 \text{ м}^3$ , ее основные размеры являются уменьшенной копией (1:3) большой реверберационной камеры Швейцарской федеральной лаборатории Института по исследованиям и испытаниям материалов, расположенной в г. Дюбендорфе. Характеристики диффузности звукового поля в данной камере аналогичны диффузности звукового поля в большой реверберационной камере, но рабочий частотный диапазон измерений пропорционально меньше. Он определяется габаритными размерами камеры и составляет 400...10000 Гц. Этот частотный диапазон наиболее важен для оценки эффективности образцов звукопоглощающих материалов и полномасштабных деталей облицовок, используемых в автомобильной промышленности. Принципы измерения в «Кабине Альфа» аналогичны принципам измерений в большой реверберационной камере. Коэффициент звукопоглощения рассчитывает-

ся на основании замеров времени реверберации пустой камеры и камеры с установленным в ней образцом звукопоглощающего материала или полномасштабной детали.

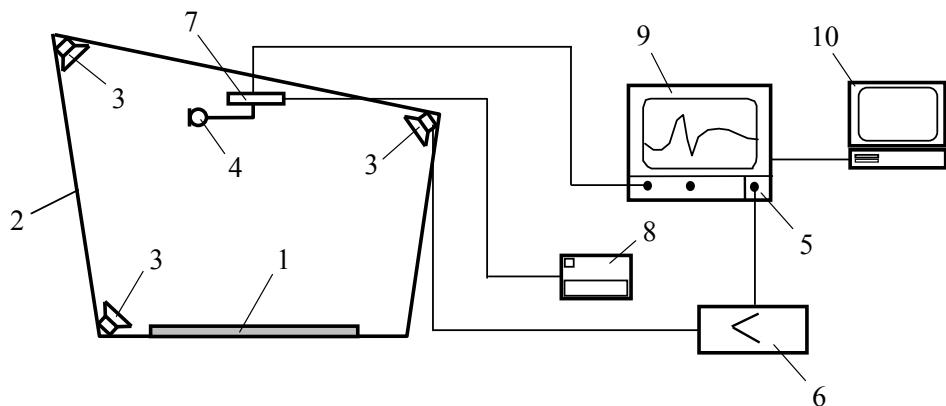


Рис. 1.9. Схема лабораторно-стендовой установки «Кабина Альфа»: 1 – образец материала или полномасштабная деталь; 2 – реверберационная камера; 3 – громкоговорители; 4 – измерительный микрофон; 5 – генератор сигналов; 6 – усилитель мощности; 7 – поворотная платформа; 8 – блок управления; 9 – частотный анализатор; 10 – компьютер со встроенным программным обеспечением

При акустических испытаниях образец материала заданного габаритного размера (преимущественно  $1000 \times 1200$  мм) или крупногабаритная полномасштабная деталь 1 (или несколько деталей для набора суммарной площади лицевой поверхности  $1,0 \dots 1,4$  м $^2$ ) устанавливается на пол реверберационной камеры 2 лабораторно-стендовой установки «Кабина Альфа», на который нанесена координатная разметка в виде сетки с пронумерованными квадратными ячейками, для обеспечения заданного фиксированного пространственного положения испытуемых образцов в камере.

Стеновая оболочка камеры лабораторно-стендовой установки «Кабина Альфа» выполнена из демпфированных стальных листов, приваренных с двух сторон к трубчатой конструкции (квадратного сечения), при этом все стенки камеры не параллельны. Внутренняя поверхность (между стальными демпфированными листами) заполнена звукопоглощающим нетканым волокнистым материалом, который обеспечивает приемлемо высокую звукоизоляцию пространства камеры (не менее 60 дБ) от внешних шумовых помех. Для увеличения диффузности (ослабления неравномерности) звукового поля в камере установлены боковые (настенные) диффузоры, которые представляют собой усеченные сфeroобразные фрагменты с квадратными основаниями и выполнены из прессованного поливинилхлорида. Потолочный диффузор представляет собой конус, выполненный из стального демпфированного листа.

В полости реверберационной камеры 1 возбуждается диффузное звуковое поле, генерируемое тремя громкоговорителями 3. Регистрация уровней звуковых давлений в заданных дискретных точках пространства реверберационной камеры производится с использованием измерительного микрофона 4, установленного на поворотной платформе 7. Показателями, оценивающими звукопоглощающие свойства исследуемых образцов материалов (деталей), являются параметры «реверберационный коэффициент звукопоглощения»  $\alpha_r$  и «площадь эквивалентного звукопоглощения»  $A$ . При определении значений реверберационного коэффициента звукопоглощения  $\alpha_r$  оценочных иссле-

дованиях плосколистовых образцов звукопоглощающих материалов их внешний периметрический контур (торцевые зоны) по своей толщине (высоте) беззазорно закрывается плотным звукоотражающим материалом (металлическими уголками или несколькими слоями липкой бумажной ленты на плотной звукоотражающей основе). Это позволяет устраниТЬ влияние дополнительного поглощения звука свободными пористыми поверхностными торцевыми зонами образца на результаты оценки поглощения звука заданной площадью его лицевой поверхности (если это только не предусмотрено иными целевыми задачами исследований). Возникающая дифракция звука на свободных краях образца материала (детали) вызывает дополнительное поглощение звуковой энергии (краевое дифракционное поглощение звука), что приводит к увеличению действительного значения реверберационного коэффициента звукопоглощения  $\alpha_r$ . Это увеличение зависит как от физических (механо-акустических) свойств пористой структуры (скелета) оцениваемого звукопоглощающего материала, так и от отношения периметрического контура образца к площади его лицевой поверхности. Для примерного учета влияния (ослабления влияния) краевого звукопоглощающего эффекта образца размером 1200×1000 мм в формулу вычисления *реверберационного коэффициента звукопоглощения*  $\alpha_r$  вводится поправочный коэффициент 0,92. Таким образом, *реверберационный коэффициент звукопоглощения*  $\alpha_r$  плосколистовых образов материалов определяется с использованием следующей зависимости:

$$\alpha_r = 55,3 \frac{V}{c \times S} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \times 0,92, \quad (1.1)$$

где  $V$  – эффективный полезный объем пустой реверберационной камеры, м<sup>3</sup>;  $c$  – скорость распространения звука в воздухе, м/с;  $S$  – площадь фронтальной (лицевой) поверхности испытываемого образца, м<sup>2</sup>;  $T_1$  – время реверберации пустой камеры, без исследуемого образца, с;  $T_2$  – время реверберации камеры, содержащей исследуемый образец, с.

При проведении испытаний полномасштабных цельноформованных деталей отбираются образцы с сопоставимой (слабоотличающейся) лицевой площадью поверхности (отличия не должны превышать 20%), что позволяет проводить достаточно корректную последующую сравнительную оценку их звукопоглощающих свойств. Расчет *реверберационного коэффициента звукопоглощения*  $\alpha_r$  полномасштабных цельноформованных деталей производится без учета поправочного коэффициента (0,92) на влияние дифракционного поглощения звука, возникающего на свободных краях детали. В расчетную формулу он не вводится, так как торцевая периметрическая поверхность типичных цельноформованных звукопоглощающих обивок кузова автомобиля является ничтожно малой (спрессованной до нескольких миллиметров). Если исследуется малогабаритный образец детали (например, обивка щитка передка, монтируемая со стороны моторного отсека, или полка багажника), который имеет площадь лицевой поверхности, значительно меньшую рекомендованной для квалификационных испытаний по методу «Кабина Альфа» (1,0...1,2 м<sup>2</sup>), определяется альтернативный показатель звукопоглощающих свойств – «площадь эквивалентного звукопоглощения»  $A$ . Этот показатель используется также в качестве одного из оценочных критериев акустических свойств цельноформованных деталей шумопонижающего комплекта кузова с двухсторонним пористым звукопоглощающим слоем типа «ультралайт».

Оценочный параметр «площадь эквивалентного звукопоглощения»  $A$  полномасштабных неплоских объемных деталей сопоставляется с соответствующим значением «площади эквивалентного звукопоглощения»  $A$  плоской звукопоглощающей поверхности, обладающей  $\alpha_r = 1,0$  усл. ед., (т. е. обладающей 100% поглощением звуковой энергии), которая имеет те же (идентичные) звукопоглощающие свойства, что и сопоставляемая с ней полномасштабная деталь, установленная в камере лабораторно-стендовой установки «Кабина Альфа», и рассчитывается согласно выражению

$$A = 55,3 \frac{V}{c} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right), \text{ м}^2, \quad (1.2)$$

где  $V$  – эффективный полезный объем пустой реверберационной камеры,  $\text{м}^3$ ;  $c$  – скорость распространения звука в воздухе,  $\text{м/с}$ ;  $T_1$  – время реверберации пустой камеры, без исследуемого образца,  $\text{с}$ ;  $T_2$  – время реверберации камеры, содержащей исследуемый образец,  $\text{с}$ .

Цельноформованные детали (шумопоглощающие обивки кузова легкового автомобиля) в отдельных случаях предварительно монтируются на поверхности сопрягаемой металлической панели кузова в том же виде, как они устанавливаются на автомобиле. Например, обивка капота кузова автомобиля монтируется на сопрягаемой металлической панели капота с применением штатных крепежных деталей, с последующей установкой собранного узла (объекта испытаний) поверхностью металлической панели капота на пол реверберационной камеры стеновой установки «Кабина Альфа». Это имитирует идентичные условия поглощения звука обивкой, смонтированной на капоте, в условиях реального диффузного звукового поля, формирующегося в моторном отсеке автомобиля.

При оценке звукопоглощающих свойств представленные параметры ( $\alpha_r$  и  $A$ ) могут определяться в частотной области как октавных полос с центрами 500...8000 Гц, так и 1/3-октавных полос с центрами 400...10000 Гц.

**Метод акустического интерферометра** основан на использовании эффекта интерференции звука, образующегося в полой, с закрытыми торцами, «узкой» трубе, при реализации процесса нормального падения звуковых волн на исследуемый образец материала, помещенный в трубу. Данный метод, как правило, реализован на базе стандартизированной лабораторной установки «Труба Кундта» (рис. 1.10), содержащей тупиковую (с глухим торцем) металлическую трубу круглого поперечного сечения.

Один конец тупиковой (с заглушенной торцевой частью металлической трубы 1 круглого поперечного сечения) трубы интерферометра находится в замкнутом коробе, где размещен громкоговоритель 2, подключенный к усилителю мощности 4 и генератору шума 3. Керн громкоговорителя 2 имеет небольшое отверстие, через которое в трубу 1 пропускается акустический зонд 5, представляющий собой узкую металлическую трубку. Один конец зонда 5 соединен с измерительным микрофоном 6, размещенным на подвижной тележке 7. Тележка 7 с указателем передвигается вдоль направляющей рейки 8, содержащей шкалу с делениями. К другому (тупиковому) концу трубы 1 крепится жесткий металлический поршень 9, предназначенный для размещения исследуемого образца звукопоглощающего материала 10. Наиболее распространенной конструкцией акустического интерферометра является установка, когда используют две сменные (поочередно монтируемые) трубы с различными внутренними диаметрами (100 и 30 мм). Труба акустического интерферометра с внутренним диамет-

ром 100 мм предусматривает проведение испытаний образцов материалов в частотном диапазоне 90...1800 Гц, а труба с внутренним диаметром 30 мм – в частотном диапазоне 800...6500 Гц. При испытаниях автомобильных звукопоглощающих материалов на их соответствие техническим условиям (ТУ) труба с внутренним диаметром 100 мм используется при частотном диапазоне 400...1600 Гц, а труба с внутренним диаметром 30 мм – 2000...6300 Гц.

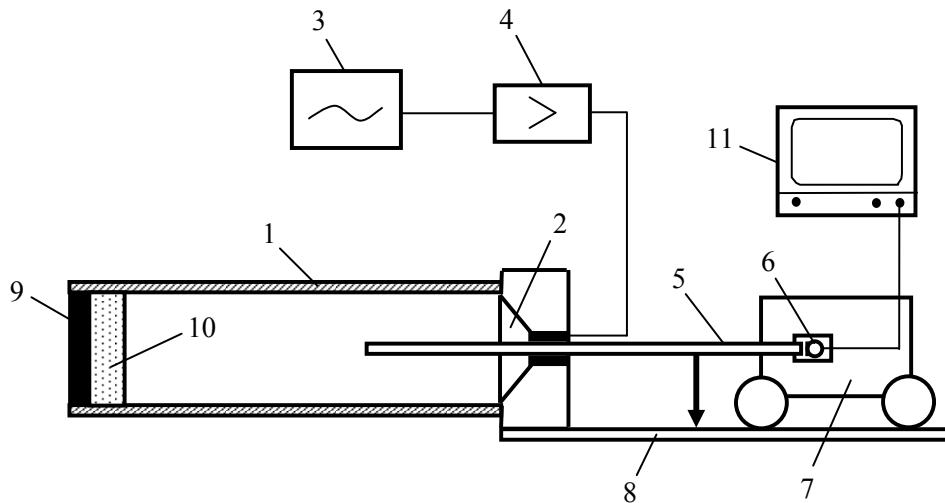


Рис. 1.10. Схема лабораторной установки «Труба Кундта»: 1 – тупиковая (с глухим торцем) металлическая труба; 2 – громкоговоритель; 3 – генератор шума; 4 – усилитель мощности; 5 – акустический зонд; 6 – измерительный микрофон; 7 – подвижная тележка с указателем; 8 – направляющая рейка; 9 – жесткий (звукопоглощающий) металлический поршень; 10 – образец исследуемого звукопоглощающего материала; 11 – частотный анализатор (измерительный усилитель)

Рабочий частотный диапазон акустического интерферометра определяется, в основном, габаритными размерами используемых измерительных труб. Так, в частности, интерферометр ГУП ВНИИФТРИ длиной 7 м рассчитан на измерения образцов звукопоглотителей больших размеров ( $0,4 \times 0,4$  м) в частотном диапазоне 40...4000 Гц. Известны также акустические интерферометры с рабочим частотным диапазоном 40...20000 Гц [6].

При проведении измерений в полости тупиковой трубы 1 распространяются плоские волны заданной частоты звука (как в узкой трубе, диаметр которой намного меньше длин распространяемых по ее оси звуковых волн), генерируемые с помощью генератора шума 3 и громкоговорителя 2. В результате процессов падения, частичного поглощения и отражения звуковых волн от поверхности исследуемого образца материала возникает эффект интерференции между падающей и отраженной волнами. Образуются стоячие волны, максимумы  $p_{max}$  (пучности) и минимумы  $p_{min}$  (узлы) звуковых давлений которых располагаются регулярно вдоль оси трубы через  $1/4$  длины звуковой волны  $\lambda$ . Пространственным перемещением среза микрофонного зонда 5 в полости трубы 1 определяются максимумы  $p_{max}$  и минимумы  $p_{min}$  звукового давления, регистрируемые вдоль трубы. При измерениях сигнал от измерительного микрофона 6 передается на анализатор 11 (измерительный усилитель).

Если обозначить отношение максимального и минимального значений звукового давления в стоячей волне внутри полости трубы интерферометра для каждой частоты через  $n = \frac{p_{\max}}{p_{\min}}$ , то коэффициент звукопоглощения образца материала при нормальном падении звука будет равен:

$$\alpha_n = \frac{4}{2 + n + \frac{1}{n}}, \text{ усл. ед.} \quad (1.3)$$

Помимо параметра *нормальный коэффициент звукопоглощения*  $\alpha_n$ , с применением акустического интерферометра могут быть определены величины *акустического сопротивления*  $rc$  и *постоянной распространения*  $\gamma$ . Ввиду того что *акустическое сопротивление*  $rc$  (комплексная величина) представляет собой импеданс пористой структуры образца звукопоглощающего материала (слоя материала бесконечной толщины), то данная величина не зависит от толщины материала. *Постоянная распространения*  $\gamma$  также является комплексной величиной, действительная часть которой представляет собой показатель затухания амплитуды давления звуковой волны в структуре пористого звукопоглощающего материала.

Рассмотренный выше принцип работы акустического интерферометра с передвигаемым в полости трубы измерительным зондом в настоящее время является уже устаревшим. Современные конструкции лабораторных установок акустических интерферометров типа «Труба Кундта» не содержат подвижного устройства измерительного зонда, а включают от 2 до 6 измерительных микрофонов, подключенных в различных зонах полости трубы. При этом используются многоканальные измерительные системы регистрации и обработки акустических сигналов, распространяемых в полости трубы интерферометра. Типичными представителями современных конструкций акустических интерферометров (импедансных труб) типа «Труба Кундта» являются лабораторно-стендовые установки модели 4206 ф. Brüel&Kjaer (Дания), модели AFD 1000 ф. SINUS Messtechnik GmbH (Германия) и др. Необходимо отметить также, что отдельные модели производимых импедансных труб (например, модель 4206 ф. Brüel&Kjaer) позволяют определять и такой важный акустический параметр, как *«трансмиссионные потери»* («потери звукопередачи» –  $TL$ ).

Результаты определения *нормального коэффициента звукопоглощения*  $\alpha_n$  малогабаритных образцов материалов (например, диаметром 30 и 100 мм), определенных с использованием акустического интерферометра «Труба Кундта», не дают исчерпывающего и адекватного представления о реальных звукопоглощающих свойствах материалов в реальных условиях диффузного звукового поля, характеризующих акустический процесс, протекающий в пассажирском помещении (кабине), моторном отсеке, багажном отделении автомобиля. В отличие от этого, испытания с использованием установки «Кабина Альфа», содержащей малогабаритную реверберационную камеру, соизмеримую по объему с полостями пассажирского помещения (кабины водителя), моторного отсека или багажного отделения, позволяют реализовать диффузное звуковое поле в ее пространстве, приближенное к этим (типичным) условиям. Сопоставление и ранжирование полученных результатов определения коэффициента звукопоглощения образцов одних и тех же материалов с помощью рассмотренных выше двух различных методов невозможно, так как получаемые результаты имеют низкую корреляцию, а зачастую – прямо противоположны. Данный факт отмечается многими исследователями [7–12]. В частности, по проведенным исследованиям и определен-

ным статистическим данным было выявлено, что более чем для 50% исследованных образцов материалов коэффициент корреляции между  $\alpha_r$  и  $\alpha_n$  составил не более 0,68.

Причиной таких существенных отличий между  $\alpha_r$  и  $\alpha_n$  в первую очередь является различный характер динамического возбуждения исследуемых образцов, используемых этими методами. Это особенно важно при оценочных измерениях неоднородных по структурному составу, пористости, толщине, удельному поверхностному весу образцов материалов. Существенным минусом использования метода акустического интерферометра является невозможность проведения исследований цельноформованных звукопоглощающих деталей неплоской геометрической формы, неоднородных по своему структурному составу, плотности и толщине, сопрягаемых с несущей деталью кузова с образованием различных величин воздушных зазоров, содержащих конкретные крепежные несущие элементы и/или закладные детали с образованием сложных колебательных механических (акустических) систем. Перечисленные выше факторы оказывают в целом важное влияние на звукопоглощающие характеристики таких деталей.

## **2. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПРИМЕНЯЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЕТАЛЕЙ АТС, СОДЕРЖАЩИХ ПОРИСТЫЕ СТРУКТУРЫ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

В конструкциях современных моделей АТС, и в частности на легковых автомобилях, находят распространение разнообразные шумопонижающие детали, изготовленные из пористых структур звукопоглощающих материалов. Также все более широко используются многофункциональные многослойные детали, наделенные выраженной доминирующей или частичной сопутствующей акустической (шумопонижающей) функцией, содержащие в своем составе слои из пористых вязкоупругих звукопоглощающих материалов. Шумопоглощающие детали, используемые в конструкциях 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 составных слоев структур шумопонижающих деталей звукопоглощающие материалы могут входить как в многослойные шумопоглощающие автомобильные детали (с доминирующей шумопоглощающей функцией), так и в детали многоцелевого (многофункционального) назначения.

По геометрической форме шумопоглощающие автомобильные детали могут быть **плосколистовыми, объемными и формованными** (образуемыми в результате реализации технологических операций формования, с получением деталей сложной, как правило, неплоской геометрической формы). По количеству звукопоглощающих слоев или наличию дополнительных слоев, выполняющих другие сопутствующие (не звукопоглощающие) функции, шумопоглощающие детали подразделяются на **однослойные, двухслойные и многослойные**. По величине динамической жесткости пористого скелета шумопоглощающие детали следует подразделить на детали с **упруго-мягким и жестким пористым скелетом**, по типу пористой структуры звукопоглощающего слоя – на **вспененные открытоячеистые, волокнистые и пластинчато-перфорированные**. Среди волокнистых материалов все более широкое распространение в конструкциях современных моделей АТС находят шумопоглощающие автомобильные детали из **плетено-волокнистых структур и иглопробивные волокнистые ворсовые ковровые покрытия** [14].

Все используемые в автомобилестроении звукопоглощающие материалы для обеспечения пожаробезопасности автомобиля должны быть **негорючими, самозатухающими или трудновоспламенямыми**.

Обобщенная схема классификации автомобильных шумопоглощающих деталей и звукопоглощающих материалов, из которых они выполнены, представлена на рис. 2.1.

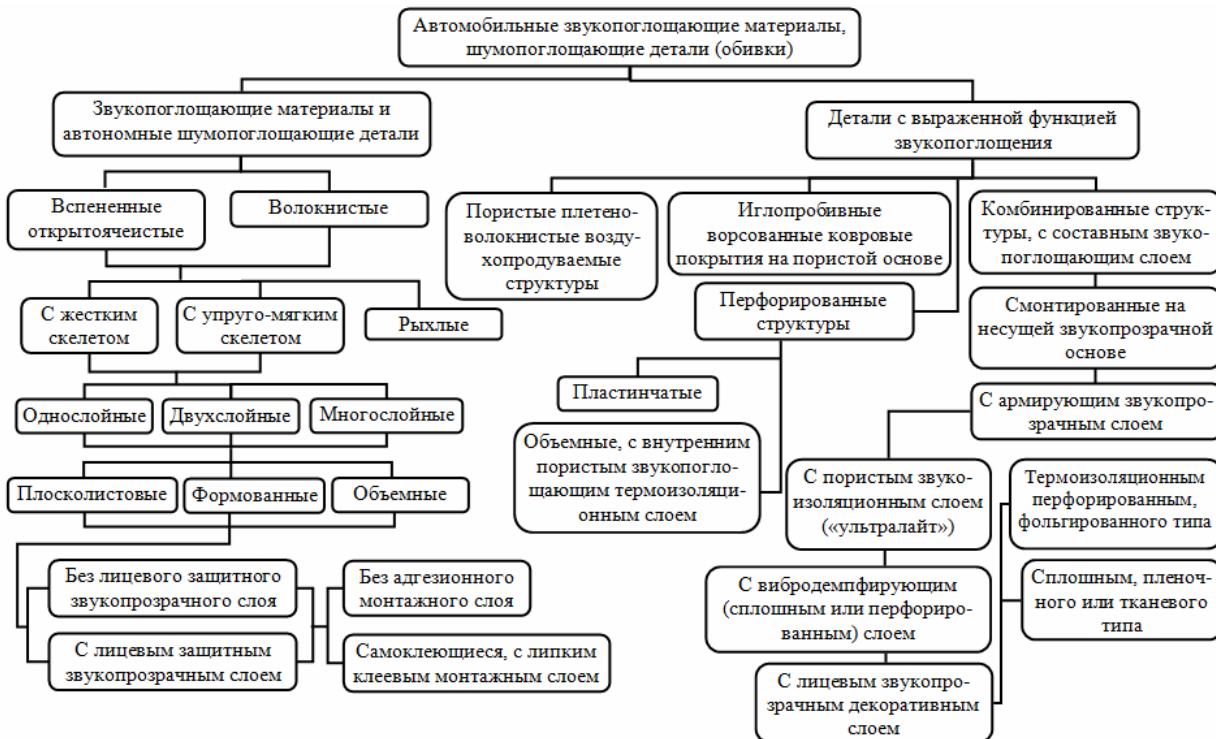


Рис. 2.1. Структурно-классификационная схема автомобильных шумопоглощающих деталей

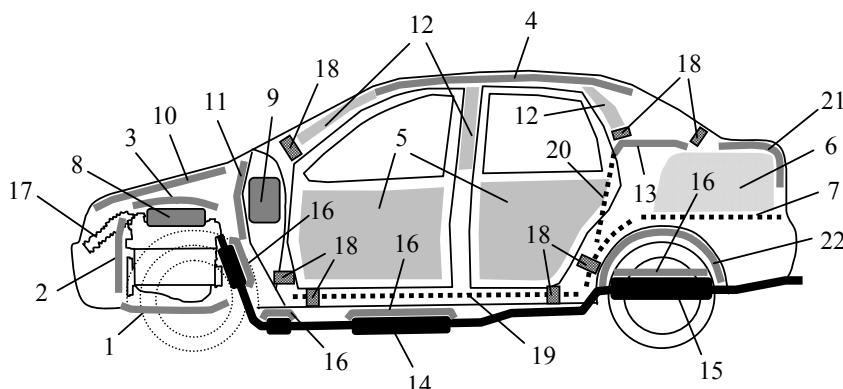


Рис. 2.2. Схема зон применения шумопоглощающих деталей в современной модели легкового автомобиля

К автомобильным шумопоглощающим деталям следует отнести следующие типы (рис. 2.1 и 2.2).

1. Плосколистовые шумопоглощающие панели (шумопоглощающие футеровки) на основе пористых вспененных открытоячеистых (ПВсМ) или пористых волокнистых структур (ПВлМ), наделенных упруго-мягким скелетом, одно-, двух- или многослойные, содержащие (или не содержащие) защитный или декоративный звукопрозрачный слой, самоклеющиеся (с липким клеевым слоем) или без адгезионного монтажного слоя. Как правило, такого типа панели монтируются на экранах элементах моторного отсека (1, 2, 3), деталях интерьера пассажирского помещения (4, 5) и багажного отделения кузова (6, 7), элементах систем АТС, транспортирующих зашумленный воздушный поток (корпусных элементах системы впуска двигателя (8), системы отопления и вентиляции салона автомобиля (9).

**2.** Формованные обивки, наделенные первичной доминирующей звукоизолирующей функцией, изготовленные в виде пористых вспененных открытойчеистых или волокнистых структур с упруго-мягким скелетом, одно-, двух- или многослойные, покрытые внешним защитным (или декоративным) звукоизолирующим слоем (или без него). Формованные обивки монтируются преимущественно на панелях подкапотного пространства кузова (10, 11) и экранах элементах моторного отсека автомобиля (1, 2, 3).

**3.** Комбинированные многофункциональные формованные обивки, наделенные сопутствующей (вторичной) звукоизолирующей функцией (доминирующими являются другие неакустические функции обивок, например, несущая или декоративная). Структурный состав таких обивок включает звукоизолирующую пористую упруго-мягкий скелетный слой вспененной открытойчеистой или волокнистой структуры, интегрированный с другими составными структурными слоями, непосредственно не выполняющими звукоизолирующих функций (несущий и/или армирующий, вибродемпфирующий, лицевой декоративный, лицевой защитный, лицевой термоизоляционный). Перечисленные типы комбинированных многофункциональных обивок используются, преимущественно, в качестве формованных обивок пассажирского помещения, моторного отсека и багажного отделения (4, 5, 12, 13) и термоакустических экранов модулей автомобиля.

**4.** Рыхлые высокотемпературные волокнистые шумопоглощающие набивки с упруго-мягким скелетом применяются исключительно в качестве объемных пористых звукоизолирующих модулей расширительных и резонаторных камер глушителей шума системы выпуска отработанных газов двигателя (14, 15).

**5.** Однослойные плосколистовые высокотемпературные шумопоглощающие прокладки с упруго-мягким скелетом применяются, в основном, в виде беззазорно смонтированных кожухов на внешних шумоактивных термовибронагруженных корпусных элементах системы выпуска отработавших газов двигателя (выполняют при этом попутные полезные функции вибродемпфирующих и термоизоляционных элементов).

**6.** Пластинчато-перфорированные плосколистовые или формованные (неплоской геометрической формы) экраны термоакустические элементы (без или с последующим заполнением полостей пористым звукоизолирующим веществом). Широко используются в качестве внешних термоакустических экранов систем выпуска отработанных газов двигателя (катализитического коллектора, нейтрализаторов, основного и дополнительного глушителей шума выхлопа), расположенных с заданным воздушным зазором, относительно шумоизлучающего корпусного термонаагруженного элемента системы выпуска (16).

**7.** Трубопроводные шумопоглощающие элементы, изготовленные из пористых воздухопропускаемых плетено-волокнистых структур (плетено-волокнистые оболочки воздухоподающих шлангов). Применяются в составе трубопроводных элементов воздухозаборных патрубков воздухоочистителей систем впуска двигателей (17).

**8.** Объемные термоакустические элементы с упруго-мягким и/или жестким пористым скелетом, монтируемые в коробчатых пустотелых шумопоглощающих элементах силового каркаса кузова (порогах, стойках, усиителях силового каркаса кузова). Преимущественно используются в виде вспенивающихся или закладных термоакустических пробок (18).

**9.** Иглопробивные ворсовые воздухопропускаемые покрытия (интегрированные с пористым латексированным основанием). Используются в виде ковровых пок-

рытий обивок пассажирского помещения (19) и багажного отделения кузова (7, 20, 21), колесных локеров (22). Применяются также в виде комбинированных деталей интерьера пассажирского салона (интегральных цельноформованных модульных ковров «звукопрозрачно сшитых» с пористыми шумопоглощающими обивками кузова, например, щитка передка или пола).

Типичные структуры звукопоглощающих материалов состоят из пористого скелета, занимающего часть общего объема образованной структуры, включающей многочисленные сообщающиеся полости и каналы (для открытоячеистых материалов типа ПВсМ) или сообщающиеся капиллярные каналы (для волокнистых материалов типа ПВлМ), заполненные упругой воздушной средой. Перфорированные пластинчатые элементы, по сути, также являются одной из многочисленных разновидностей пористых структур с выраженной крупнопористой структурой сквозных каналов, образуемых отверстиями перфорации. Плетеные трубопроводные воздухоподуваемые пористо-волокнистые структуры, наделенные звукопоглощающей функцией, или иглопробивные ворсовые воздухоподуваемые 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 на внешней поверхности, так и во внутренней структуре пористого слоя [15–27, 88–91].

При распространении звуковых колебаний по капиллярным воздушным каналам в зонах волокон или между сообщающимися ячейками пористых материалов возникают вязкие силы трения, вызывающие процессы соответствующего вязкоупругого демпфирования и рассеивания звуковой энергии. Также имеют место потери звуковой энергии в местах сужения и изломов 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 (рассеивание) колебательной энергии звуковых волн в тепловую энергию.

В пористых звукопоглощающих материалах, наделенных динамически податливым упруго-мягким скелетом, имеет место дополнительный механизм поглощения звуковой энергии. Он возникает за счет сопутствующих внутренних механических потерь (внутреннего трения материала), образуемых происходящими динамическими деформациями скелета, которые вызываются силовым воздействием на него переменного звукового давления. В пористых звукопоглощающих материалах, обладающих жестким (по-сути, не деформируемым от непосредственного воздействия падающих звуковых волн) скелетом, также сопутствующее рассеивание 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 рассеивания энергии звуковых волн при их распространении и затухании по сообщающимся воздушным порам и каналам. В этом отношении частично вакуумированные пористые структуры (с частично удаленным воздухом из полостей сообщающихся пор), соответственно, сообщают пористой структуре увеличенную податливость от силового воздействия звукового давления, что обеспечивает структуре повышенные звукопоглощающие свойства [27–35].

Волокнистый тип неметаллических звукопоглощающих материалов является одним из наиболее распространенных в семействе используемых автомобильных звукопоглощающих материалов. Его структура представляет пористый упруго-мягкий деформируемый скелет, который сформирован множеством динамически связанных и взаимодействующих между собой волокон. Образованные воздушные поры в таких упругих структурах волокнистых материалов имеют вид узких сообщающихся капиллярных каналов. К типичным волокнистым звукопоглощающим материалам относятся, в частности, материалы, выполненные на основе натуральных (хлопковых, шелковых, джутовых, сизальных, льняных, конопляных и др., белковых животного происхождения), синтетических (акриловых, полиэстеровых, полиоксацизольных, полииimidных, углеродных, арамидных, полипропиленовых, нейлоновых и т. д.), минеральных волокон (базальтовых, керамических, стеклянных и т. д.), металлических волокон (в виде специально подготовленных металлических структур типа пористого волокнистого материала – ПВМ, пористого сетчатого материала – ПСМ, металлорезины – МР). Волокнистые звукопоглощающие материалы на основе металлических волокон получают посредством выполнения последовательных технологических операций высокотемпературного прессования (формования) и спекания. Пористые сетчатые материалы (ПСМ) получают из вязанных или тканых металлических сеток посредством выполнения последовательных технологических операций нарезки, пакетирования, прессования (или прокатки) с последующим спеканием. Металлорезины (МР), или пористые материалы из проволочных металлических спиралей, получают посредством технологической операции прессования заготовок из проволочных спиралей в специальных прессформах [37]. Подобные типы пористых металлических материалов в конструкциях легковых автомобилей не получили практического применения вследствие их неудовлетворительных стоимостных показателей при слабо выраженных (неудовлетворительных) звукопоглощающих свойствах. В отдельных случаях они используются в качестве виброзолирующих и вибродемптирующих элементов узлов АТС, подвергаемых высоким динамическим и температурным нагрузкам, например, в конструкциях демптирующих втулок компенсаторов колебаний систем выпуска отработавших газов двигателей автомобилей.

Вспененные (или губчатые) звукопоглощающие материалы представляют разновидность материалов, пористый упруго-деформируемый скелет которых сформирован посредством технологического вспенивания и последующей полимеризации раствора полимерного материала или посредством проведения соответствующей химической реакции. К вспененным звукопоглощающим материалам, наделенным жестким скелетом, относят материалы, структура которых сформирована за счет принудительного распределения вводимого воздуха в расплавы (растворы) вещества материала, формирующего при затвердевании открытаячеистый пористый скелет, или за счет соответствующей химической реакции (с выделением паров) при введении газообразующих веществ (гидридов, карбонатов и т. д.) в расплавы, или за счет соответствующего прессования и спекания порошков металлов и их соединений. К ним, например, относятся открытаячеистые материалы, выполненные на основе уретанового, нитрильного, винилового, бутадиен-стирольных полимерных составов. Данный тип звукопоглощающих материалов является также весьма распространенным в конструкциях шумопонижающих деталей (панелей, обивок) автотранспортных средств, наряду с уже отме-

ченным выше типом неметаллических волокнистых звукопоглощающих материалов. К такого типа материалам можно также отнести пористые вспененные закрытоячеистые металлические сплавы на основе алюминия (используемым очень редко и в весьма ограниченных количествах в автомобилестроении). Они в ряде случаев применяются в качестве локальных закладных элементов для ужесточения и упрочнения коробчатых силовых структур кузова, с целью обеспечения требований пассивной безопасности автомобиля, в определенной степени выполняя полезные попутные функции звукоизолирующих элементов. Вспененная закрытоячеистая структура такого типа материалов обладает весьма низкими звукопоглощающими свойствами.

В современных конструкциях легковых автомобилей наиболее широко применяются плосколистовые и цельноформованные шумопоглощающие детали сложной неплоской геометрической формы. Объемные шумопоглощающие детали применяются значительно реже. В основном, последние используются для попутной функции снижения передачи тепловой и звуковой энергии по пустотелым коробчатым элементам силового каркаса кузова типа порогов, стоек, усилителей (посредством процессов поглощения и/или изоляции), распространяемого в пространство салона автомобиля [38–42; 82; 83]. В качестве практических примеров использования такого типа пористых термоакустических пробок, монтируемых в звукопередающих коробчатых пустотелых сечениях кузова, следует указать на промышленно производимые материалы марок Sika Buffle (ф. Sika, Швейцария), Betafoam (ф. Dow Automotive, США), Bayfill ST (ф. Bayer Corp., Германия), Antiphon ESM (ф. Perstorp Components, Швеция), Betacore (ф. Gurit-Essex, Швейцария), Tegophon (ф. Henkel, Германия).

Плосколистовые шумопоглощающие детали в современных моделях легковых автомобилей применяются преимущественно как в составе структур многослойных многофункциональных деталей, так и 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.) [45–50]. Они могут применяться в виде составных многослойных интегральных шумоизолирующих модулей, например, совмещенных с обивкой крыши или обивками багажного отделения автомобиля. Весьма распространено применение таких шумопоглощающих панелей, в качестве дополнительных футеровок отдельных элементов интерьера пассажирского помещения, монтируемых, в частности, на внутренних поверхностях стенок кожуха рычага КП, кожуха рулевого вала и др. [52]. Достаточно распространено использование плосколистовых шумопоглощающих панелей в качестве футеровок поверхностей стенок элементов систем, транспортирующих зашумленный воздушный поток [36; 52; 93].

Все более широкое применение в современных конструкциях легковых автомобилей находят многофункциональные формованные детали интерьера пассажирского помещения, моторного отсека и багажного отделения, наделенных вторичной сопутствующей (или основной – доминирующей) функцией повышенного звукопоглощения. Такие многофункциональные детали, как правило, помимо исполнения своих основных функций (например, декоративного, несущего, каркасного элементов, или модульных интегрированных блоков, совмещающих, например, узловые элементы систем освещения, вентиляции или контроля климата, приспособления для установки мультимедий-

ных средств и др.), могут весьма эффективно попутно выполнять полезную функцию звукопоглощения. В свою очередь, детали, основная функция которых – звукопоглощение, могут попутно выполнять другие полезные функции. Последние, в частности, 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 акустических капсул моторного отсека [55–60]. 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, обивку крышки багажника, колесные локеры коврового типа и др. [54; 60–66]. Известно также применение на моделях легковых автомобилей формованных обивок дверей и обивок стоек кузова, изготовленных из пористых звукопоглощающих структур [54; 58; 39–67], поверхностных покрытий пористых звукопоглощающих футеровок подушек и спинок сидений салона автомобиля [69, 70, 71].

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 отработанных газов двигателей [92, 94]. Необходимо отметить, что в настоящее время подавляющее большинство конструкций глушителей легковых автомобилей содержат волокнистые шумопоглощающие 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 волокно (температура плавления +500°C). С целью исключения выдувания потоком выхлопных газов волокон из полостей камер глушителей соответствующие поверхностные зоны перфорированных труб и перегородок камер дополнительно футеруются тонким заграждающим мелкочаечистым сетчатым волокнистым металлическим слоем или слоем плетенных (путанных) металлических волокон. В некоторой степени, в качестве многофункционального устройства, наделенного попутной функцией звукопоглощения, может рассматриваться пористая сотовая структура керамического каталитического блока нейтрализатора выхлопных газов системы выпуска отработанных газов двигателя автомобиля.

В современных конструкциях легковых автомобилей используют, в том числе, материалы и конструкции, обладающие звукопоглощающими свойствами в относительно узком доминирующем диапазоне частот [28; 35; 36; 73; 74]. К примеру, в конструкциях легковых автомобилей, оборудованных термонагруженными коллекторными, корпусными и трубопроводными элементами выхлопной трассы, требующими комплексного решения как термоизоляционных, так и виброакустических проблем, находят применение разнообразные конструкции термоакустических экранов. В большинстве случаев такие экранные элементы изготавливаются из перфорированных листовых металлических (алюминиевых, стальных) звукопоглощающих конструкций. Перфорированные пластинчатые элементы являются типичными резонансными поглотителями звуковой энергии с выделяющимся максимумом эффекта подавления звука на четвертьволновом

расстоянии поверхности перфорированной структуры элемента от близкорасположенных жестких звукоотражающих стенок (пола кузова, поверхности дорожного покрытия). В конструктивных вариантах исполнения перфорированных стенок элементов, образующих замкнутые полости, реализуются более эффективные по звукопоглощению, частотно-настроенные устройства объемных поглотителей звука типа резонаторов Гельмгольца. Их звукопоглощающий эффект формируется взаимосвязанным выбором геометрических размеров образованной полости и отверстий перфорации, выполняемых в заданной зоне стенки полости. Заполнение образованных перфорированных полостей пористыми звукопоглощающими материалами (как правило, обладающими высокими термоизоляционными свойствами, стекловолокном, базальтовым волокном, муллито-кремнеземистым материалом) существенно расширяет эффективный частотный диапазон поглощения звука. Такие шумопонижающие устройства могут быть выполнены в виде одно- или многослойных формованных деталей, а также с различным комбинированием составных структур, содержащих крупно- и/или микроперфорированные металлические листовые элементы и/или пористые звукопоглощающие термоизоляционные слои (например, базальто-волокнистые, муллито-кремнеземистые).

В современных моделях легковых автомобилей достаточно часто находят применение составные многофункциональные трубопроводные элементы воздухозаборных патрубков воздухоочистителей систем впуска двигателей, выполненные в виде пористых воздухоподуваемых плетено-волокнистых шумопоглощающих шлангов. Их сопутствующим функциональным назначением (наряду с основной функцией подачи воздуха в двигатель) 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 плетенный волокнистый звукопоглощающий материал, обладающий определенным сопротивлением продуванию воздушным потоком. Для обеспечения приемлемых жесткостных характеристик оболочки шланга армируется проволочным пружинным каркасом. В отдельных случаях для повышения звукопоглощающего эффекта используются многослойные комбинированные структуры таких шлангов, дополнительно футерованные слоем открытоячеистого пенополиуретана. Обычно такие шумопоглощающие элементы монтируются посередине длины воздухозаборного патрубка или на отрезке, составляющем четверть его общей длины, отсчитываемой от свободного (открытого) среза. Это позволяет не только эффективно подавлять низшие собственные резонансные моды воздушного объема полости патрубка, но и исключать возможное усиление излучения низкочастотного шума впуска при расположении такой вставки, непосредственно примыкающей к полости корпуса воздухоочистителя двигателя. В большинстве случаев использование пористых воздухопроницаемых шлангов благоприятно отражается и на повышении эффективных показателей двигателя внутреннего сгорания (мощности, крутящего момента, удельного расхода топлива) за счет снижения гидравлического сопротивления и улучшения процесса наполнения цилиндров рабочей смесью. Примеры конструктивных исполнений пористых воздухопроницаемых звукопоглощающих оболочек шлангов на легковых автомобилях моделей Toyota Corolla и Renault Scenic приведены в работе [36].

Пористые вакуумированные звукопоглощающие материалы и комбинированные конструкции, созданные на их основе [28–34, 73, 74], потенциально способны существенно увеличивать звукопоглощающий эффект в актуальном низкочастотном

звуковом диапазоне при использовании уменьшенных габаритов шумопоглощающих элементов. Такие специфические материалы и конструкции пока не находят промышленного применения в конструкциях легковых автомобилей и в связи с этим не приводятся в схеме на рис. 2.1. Однако при успешном решении принципиальных технологических проблем их изготовления и обеспечения последующей надежной эксплуатации, они могут весьма эффективно использоваться в конструкциях различных шумопонижающих устройств автотранспортных средств.

Структурные составы шумопоглощающих деталей, применяемых в современных моделях легковых автомобилей, представлены на рис. 2.3.

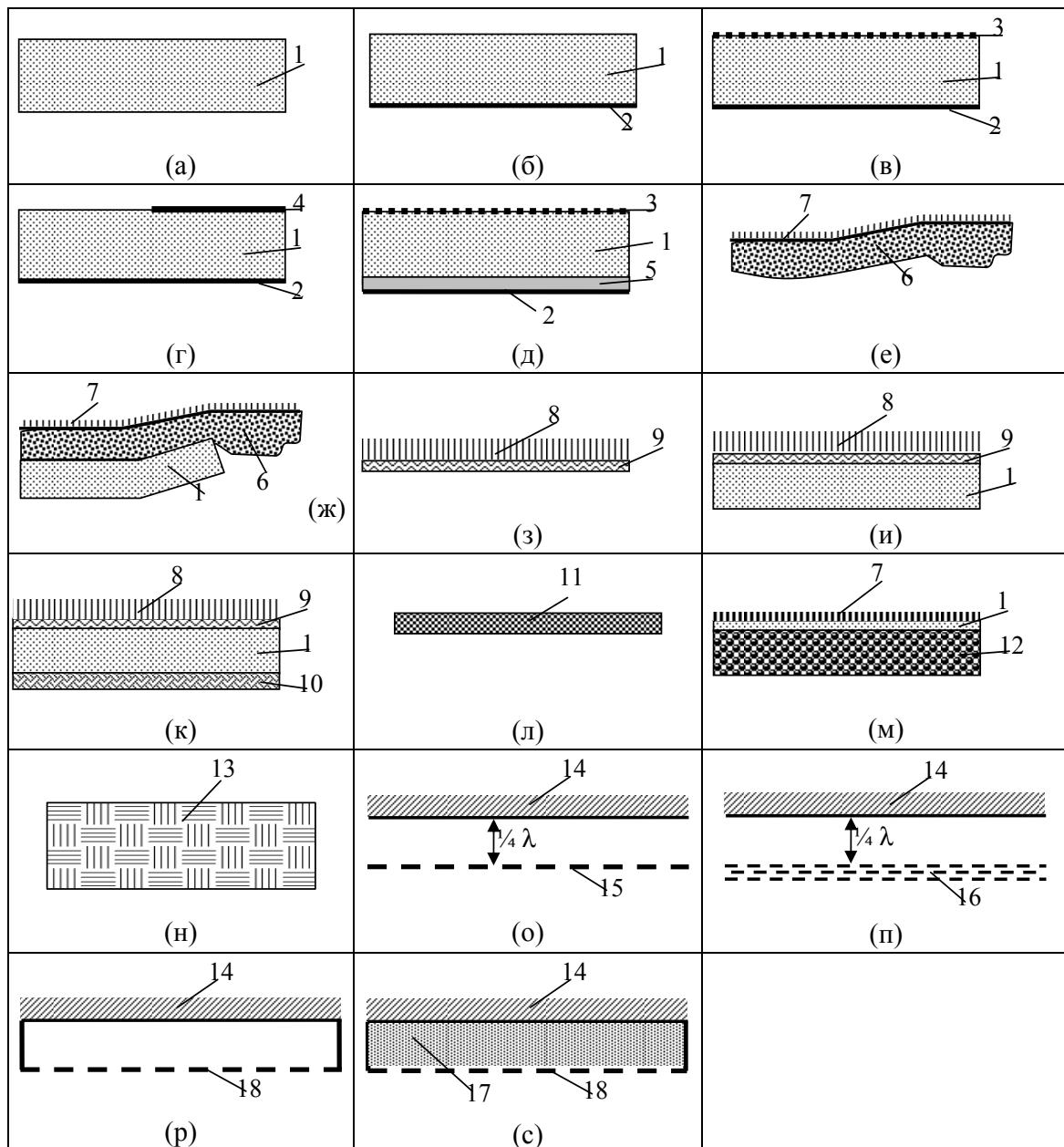


Рис. 2.3. Схема расположения составных структурных слоев материалов автомобильных шумопоглощающих деталей

На рис. 2.3 обозначено: 1 – пористый звукопоглощающий слой; 2 – монтажный адгезионный слой; 3 – лицевой защитный звукопрозрачный слой; 4 – термоизоляционный слой фрагментной зоны панели; 5 – вязкоэластичный вибродемпфирую-

щий слой; 6 – формованный пористый звукопоглощающий слой; 7 – лицевой звукопрозрачный декоративный слой; 8 – ворсованное полотно коврового покрытия; 9 – пористая (латексная) несущая воздухопроницаемая основа (коврового покрытия); 10 – несущий слой интегрального ковра; 11 – однослочная формованная пористая звукопоглощающая структура; 12 – эластичная основа; 13 – плетено-волокнистая воздухопроницаемая структура; 14 – звукоотражающая стенка (металлическая панель кузова); 15 – перфорированная структура однослойного термоакустического экрана; 16 – перфорированная структура трехслойного термоакустического экрана; 17 – пористое звукопоглощающее термоизоляционное вещество; 18 – перфорированная стенка замкнутой резонансной полости;  $\lambda$  – длина звуковой волны, м;  $a$ ,  $b$ ,  $g$ ,  $d$  – составные слои материалов плосколистовых шумопоглощающих панелей и формованных шумопоглощающих обивок моторного отсека;  $e$  – многофункциональные (с выраженной сопутствующей звукопоглощающей функцией) цельноформованные детали пассажирского помещения автомобиля: обивки крыши, стоек, дверей кузова;  $ж$  – многофункциональные цельноформованные детали пассажирского помещения – обивки крыши, дверей, дополнительно футерованные изнутри плосколистовыми шумопоглощающими панелями;  $з$  – пористые иглопробивные ворсовые ковровые покрытия (пола кузова пассажирского помещения, пола и боковин багажного отделения);  $и$  – интегральные шумопоглощающие ковры пола пассажирского помещения типа пористого иглопробивного ворсового коврового покрытия, интегрированного пористым латексным слоем с открытоячеистым вспененным или волокнистым слоями;  $к$  – интегральные шумопоглощающие ковры (пористого иглопробивного ворсового коврового покрытия, интегрированного с пористым эластичным и несущими структурными слоями пола багажного отделения);  $л$  – формованные ковровые материалы для изготовления шумопоглощающих деталей, например колесных локеров;  $м$  – звукопоглощающие материалы в виде насыщенного поверхностного слоя пористой открытаячеистой футеровки подушек и спинки сидений пассажирского помещения;  $н$  – пористый воздухоподуваемый плетено-волокнистый шумопоглощающий шланг воздухозаборного патрубка воздухоочистителя систем впуска двигателя;  $о$  – однослоиный перфорированный термоакустический экран, смонтированный с заданным воздушным зазором относительно звукоотражающей стенки;  $п$  – трехслойный перфорированный термоакустический экран, локализованный в зоне звукоотражающей стенки;  $р$  – объемный перфорированный термоакустический экран, выполненный в виде замкнутой резонансной полости;  $с$  – перфорированный термоакустический экран типа замкнутой резонансной полости, заполненной пористым звукопоглощающим термоизоляционным веществом.

Отдельные конструктивно-технологические приемы совершенствования акустических характеристик пористых структур звукопоглощающих материалов и шумопоглощающих свойств деталей (узлов), созданных на их базе, могут быть также позаимствованы из обширного опыта разработок низкошумных исполнений различного типа технических объектов, которые изложены в информационных источниках, приведенных в библиографическом списке [12, 13, 15–19, 22–27, 37, 91], и технических описаниях патентов на изобретения, приведенных в пункте 12 (стр. 185–190).

### 3. РАНЖИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ПОРИСТЫХ СТРУКТУР ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

При экспериментальных акустических исследованиях производилась оценка звукопоглощающей эффективности плосколистовых звукопоглощающих материалов по величине параметра «реверберационный коэффициент звукопоглощения»  $\alpha_r$ , замеряемого с использованием малой реверберационной камеры «Кабина Альфа». Было оценено 75 марок плосколистовых материалов 24 производителей (19 – отечественных и 5 – зарубежных) [75]. Исследованные марки звукопоглощающих материалов отличались типом структуры пористого слоя (вспененный, волокнистый), наличием или отсутствием защитного (декоративного) облицовочного слоя, толщиной пористого слоя в пределах 5...60 мм, удельным поверхностным весом в пределах 0,1...6,0 кг/м<sup>2</sup>. Исследованные образцы материалов обладали различной плотностью, пористостью, извилистостью пор, удельным сопротивлением воздушному потоку и пр.

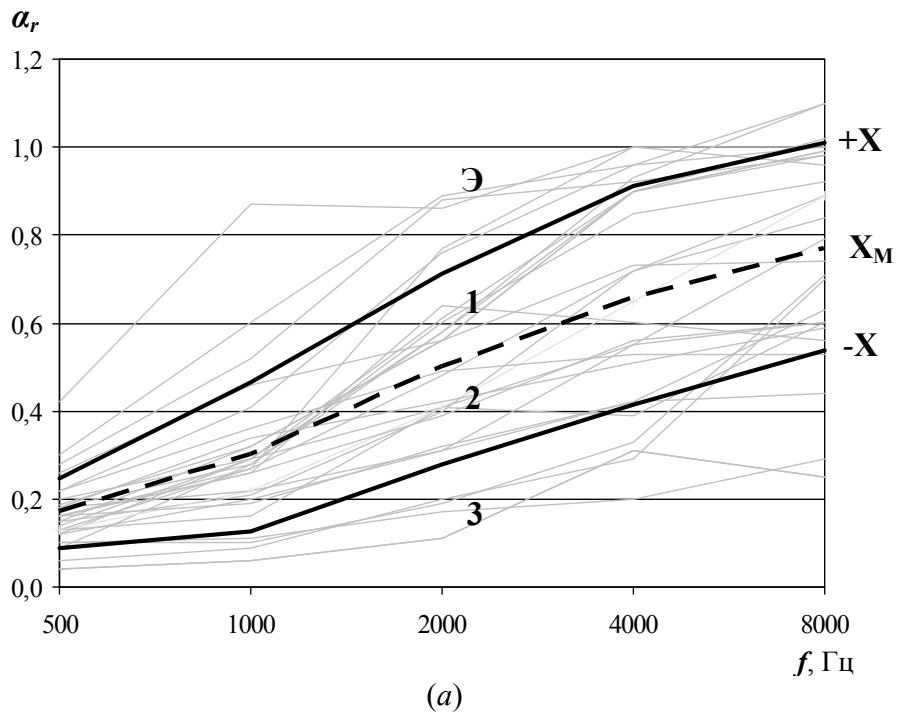
Представленные на рис. 3.1, *а*, *б* результаты определения *реверберационного коэффициента звукопоглощения*  $\alpha_r$  различных марок автомобильных плосколистовых звукопоглощающих материалов указывают на весьма значительный разброс замеренных значений  $\alpha_r$  в пределах 0,09...1,17 усл. ед. в контролируемом частотном диапазоне октавных полос с центрами 500...8000 Гц [75]. Из результатов измерений и последующей статистической оценки параметра  $\alpha_r$  семейства плосколистовых звукопоглощающих материалов, *не содержащих облицовочного слоя*, следует, что в частотном диапазоне октавных полос с центрами 500...8000 Гц среднеарифметические значения составляют  $\alpha_{r(M)} = 0,17...0,77$  (рис. 3.1, *а*).

Значения верхней (+ $X$ ) и нижней (- $X$ ) границ доверительного интервала составили, соответственно,  $\alpha_{r(+)} = 0,25...1,0$  и  $\alpha_{r(-)} = 0,09...0,54$ . Аналогичным образом выполненные измерения и последующая статистическая оценка параметра  $\alpha_r$  семейства образцов плосколистовых звукопоглощающих материалов, *содержащих облицовочный слой*, указывают, что значения математического ожидания ( $X_M$ ) находятся в диапазоне  $\alpha_{r(M)} = 0,24...0,78$  (рис. 3.1, *б*).

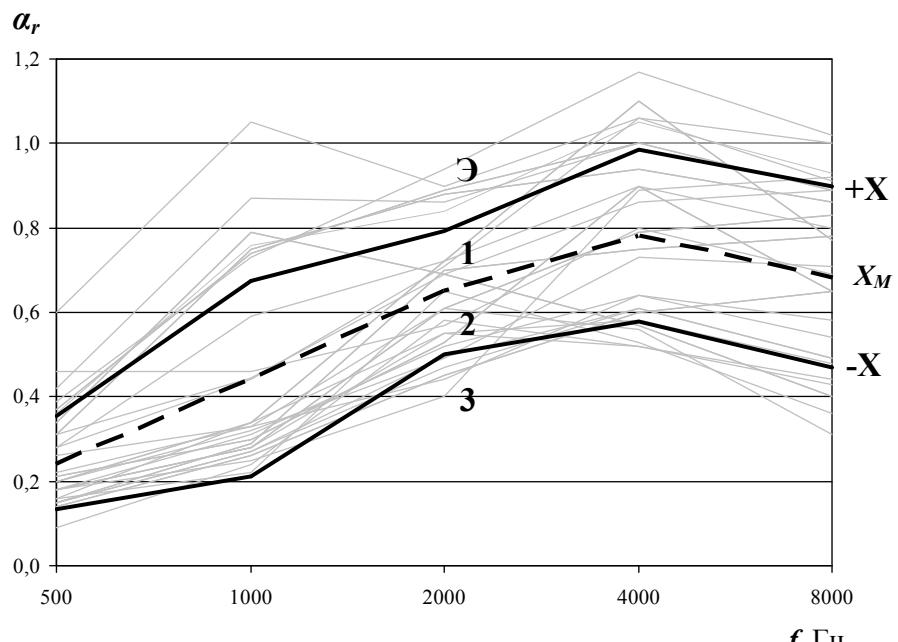
Значения верхней (+ $X$ ) и нижней (- $X$ ) границ доверительного интервала при этом составили, соответственно,  $\alpha_{r(+)} = 0,36...0,99$  и  $\alpha_{r(-)} = 0,13...0,58$ . Средне-арифметические значения реверберационного коэффициента звукопоглощения  $\alpha_{r(M)}$  образцов плосколистовых звукопоглощающих материалов, содержащих облицовочный слой, относительно аналогичного показателя ( $\alpha_{r(M)}$ ) образцов, не содержащих подобного слоя, выше на величину до 0,15 – в диапазоне октавных полос частот 500...4000 Гц и ниже на 0,10 – в октавной полосе частот 8000 Гц. Причиной достижения более высокого значения  $\alpha_{r(M)}$  в октавных полосах частот 500...4000 Гц семейства образцов, содержащих облицовочный слой, является, по-видимому, более высокое акустическое

качество их пористого звукопоглощающего слоя, используемого при производстве такого типа (более качественных) акустических материалов.

Также данному факту может способствовать применение специальных адгезионных веществ и технологий нанесения звукопрозрачного облицовочного слоя, позволяющих снизить отрицательное динамическое ужесточение лицевой поверхности панели.



(a)



(б)

Рис. 3.1. Реверберационный коэффициент звукопоглощения  $\alpha_r$  образцов плосколистовых звукопоглощающих материалов (панелей), не содержащих (а) и содержащих облицовочный слой (б)

При этом несколько увеличивается эффективность звукопоглощения в среднечастотном диапазоне, образуемого, по-видимому, эффектом мембранным демпфирования «технологически сшитой» слоистой структуры. В это же время наличие облицовочного слоя оказывает определенное отрицательное (звукопоглощающее) воздействие, ослабляя процесс звукопоглощения в высокочастотной области спектра (октава 8000 Гц), в которой  $\alpha_{r(M)}$  уменьшается в среднем на 0,10.

На основе проведенных расчетов оценочных параметров автомобильных плосколистовых звукопоглощающих материалов ( $\alpha_{r(-)}$ ,  $\alpha_{r(M)}$ ,  $\alpha_{r(+)}$ ) было установлено их соответствующее ранжирование по категориям акустической эффективности во всем контролируемом диапазоне частот, охватываемом октавами с центрами 500...8000 Гц. Конкретные марки плосколистовых звукопоглощающих материалов «высокой» и «повышенной» эффективности (**категория «экстра» и категория 1**), отличающихся, как правило, более высокими стоимостными параметрами, предпочтительней применять для решения более «амбициозных» технических задач, для достижения максимального шумопонижающего эффекта (в отдельных случаях – и экономического эффекта) с установкой их в наиболее «зашумленные» пространства легкового автомобиля. В это же время более «дешевые» марки материалов низкой эффективности (**категории 2 и 3**) – могут находить применение для решения менее «амбициозных» технических задач. Выбор той или иной марки плосколистового звукопоглощающего материала должен всегда учитывать доминирующий частотный диапазон излучения звуковой энергии, характеризующий данную конкретную модель автомобиля на ее актуальном проблемном скоростном (нагрузочном) режиме движения.

Достигнутые значения параметра  $\alpha_r$  в диапазоне октавных полос 2000...8000 Гц для материалов категорий Э и 1 являются весьма высокими и составляют 0,53...1,17. В диапазоне октавных полос 500...1000 Гц отмечаются существенные отличия между категориями указанных материалов (до 0,65) при том, что абсолютные значения  $\alpha_r$  находятся в диапазоне 0,17...1,05. Материалы категории 3 (частично категории 2) обладают существенно более низкими значениями  $\alpha_r$  во всем контролируемом частотном диапазоне октавных полос – 500...8000 Гц. Это обусловлено не только их специфическими структурными и физическими характеристиками, но и в отдельных случаях – малой толщиной образцов этих материалов (5...6 мм).

Отмечается достаточно высокое влияние физических свойств структуры облицовочного слоя в зависимости от его толщины, плотности, применяемого адгезионного вещества и метода его нанесения (технологии «сшивки» с пористым слоем) на звукопоглощающую эффективность материалов. Наиболее высокими звукопоглощающими свойствами обладают открытоячеистые пенополиуретаны, облицованные тонкими звукопрозрачными покрытиями типа полиэстеровой алюминизированной пленки или тонкого стеклотканевого слоя. В то же время облицовочные материалы типа поливинилхлоридной перфорированной пленки являются менее предпочтительными вследствие их меньшей звукопрозрачности.

Информация об акустических качествах современных промышленно производимых плосколистовых звукопоглощающих материалов, определенных в условиях диффузного звукового поля, является востребованной и весьма полезной для проведения заключительных интегральных оценок звукопоглощающих качеств полномасштабных крупногабаритных (0,8...1,4 м<sup>2</sup>) образцов как плосколистовых, так и цельноформо-

ванных деталей сложной геометрической формы. В это же время на этапах разработки многослойных структурированных композиций звукоизолирующих материалов, содержащих в своем составе пористые открытые и/или волокнистые слои, весьма востребованной является информация о значениях нормального коэффициента звукопоглощения  $\alpha_n$  малогабаритных образцов этих слоев, определенных в условиях нормального падения звуковых волн.

Оценка эффективности пористых материалов при проведении представленной НИР выполнялась с использованием лабораторных установок «Труба Кундта» (типа 4206, производства ф. Brüel&Kjaer и типа AFD 1000, производства ф. Sinus Messtechnik GmbH) согласно установленному стандартизированному методу [95]. При проведении испытаний использовались две сменные (поочередно монтируемые) трубы интерферометра с внутренними диаметрами 100 и 30 мм. При применении интерферометра модели 4206 (ф. Brüel&Kjaer) труба с внутренним диаметром 100 мм использовалась при определении величин нормального коэффициента звукопоглощения  $\alpha_n$  в частотном диапазоне 400...1250 Гц, а труба с внутренним диаметром 30 мм – в частотном диапазоне 1600...6300 Гц.

Оценочным исследованиям с последующей процедурой ранжирования было подвергнуто свыше 180 марок образцов пористых плосколистовых материалов 40 производителей (25 – отечественных и 15 – зарубежных) [84]. Исследованные марки материалов отличались типом структуры пористого слоя (вспененный, волокнистый), числом и комбинацией составных слоев (для многослойных структур материалов), наличием или отсутствием внешнего защитно-декоративного облицовочного слоя, толщиной пористых слоев в пределах 3...60 мм, удельными поверхностными весами в пределах 0,2...5,8 кг/м<sup>2</sup>. Исследованные образцы материалов обладали при этом различной плотностью, пористостью, извилистостью пор, удельным сопротивлением продуванию воздушным потоком и пр. При испытаниях оценивалось по два образца материала, вырубленных из различных зон крупногабаритных деталей каждой из исследуемых марок пористых материалов, габаритные размеры которых соответствовали внутренним диаметрам используемых труб интерферометра (100 мм и 30 мм). Установка исследуемых образцов материалов осуществлялась беззазорно к жесткому звукоотражающему поршню трубы интерферометра.

Представленные на рис. 3.2, а, б результаты экспериментальных исследований образцов промышленно производимых плосколистовых звукоизолирующих материалов указывают на значительный разброс замеренных значений их нормального коэффициента звукопоглощения  $\alpha_n$  в пределах 0,02...0,99 усл. ед. в контролируемом диапазоне 1/3-октавных полос частот с центрами 400...6300 Гц. По результатам измерений был проведен статистический анализ замеренных значений нормального коэффициента звукопоглощения  $\alpha_n$  с определением математического ожидания ( $X_M$ ), верхней (+ $X$ ) и нижней (- $X$ ) границ доверительного интервала.

Результаты статистической оценки нормального коэффициента звукопоглощения  $\alpha_n$  исследованного семейства образцов плосколистовых звукоизолирующих материалов, структурный состав которых не содержит внешнего облицовочного слоя, свидетельствуют о том, что в диапазоне 1/3-октавных полос частот с центрами 400...6300 Гц значения математического ожидания  $X_M$  составляют 0,17...0,77 (рис. 3.2, а). Значения верхней (+ $X$ ) и нижней (- $X$ ) границ доверительного интервала составили, соответ-

твенно,  $\alpha_{n(+)} = 0,19 \dots 0,94$  и  $\alpha_{n(-)} = 0,05 \dots 0,46$ . Аналогичным образом выполненная статистическая оценка величин нормального коэффициента звукопоглощения  $\alpha_n$  семейства образцов плосколистовых звукопоглощающих материалов, содержащих внешний облицовочный слой, указывают, что значения математического ожидания  $X_M$  находятся в диапазоне 0,20...0,64 (рис. 3.2,б). Значения верхней (+ $X$ ) границы доверительного интервала при этом составили  $\alpha_{n(+)} = 0,31 \dots 0,91$  с достижением наибольших значений в 1/3-октавной полосе частот с центром 2000 Гц. Значения нижней (- $X$ ) границы доверительного интервала составили  $\alpha_{n(-)} = 0,09 \dots 0,40$  с достижением наибольших значений в диапазоне частот 2500...40000 Гц.

Среднеарифметические значения  $X_M$  нормального коэффициента звукопоглощения  $\alpha_n$  образцов плосколистовых звукопоглощающих материалов, содержащих внешний облицовочный слой, относительно аналогичного показателя ( $X_M$ ) образцов, не содержащих подобного слоя, выше на величину до 0,23 – в диапазоне 1/3-октавных полос частот 400...4000 Гц и ниже до 0,11 – в 1/3-октавных полосах частот 5000 и 6300 Гц. Возможной причиной указанных отличий звукопоглощающих свойств может являться образуемый «настроенный эффект» специфического мембранных механизма поглощения звуковой энергии оболочкой исследуемых образцов материалов, периметрически беззазорно помещенных в гильзе трубы интерферометра (оперты на цилиндрическую поверхность стенки гильзы). Другой потенциальной причиной отличий исследованных семейств материалов являются повышенные звукопоглощающие свойства структуры пористого звукопоглощающего слоя, используемого при производстве такого типа более высококачественных структур акустических материалов, применение звукопрозрачных адгезионных веществ и технологий «сшивки» составных слоев многослойных структур, включая соответствующие технологии и вещества нанесения облицовочного слоя, позволяющие в конечном итоге снизить отрицательное динамическое ужесточение пористой структуры и устраниить негативный звукоотражающий эффект, производимый внешней лицевой облицовкой образца материала.

В это же время исследованные образцы материалов, содержащие внешний облицовочный слой, характеризуются более низкими звукопоглощающими свойствами в высокочастотной области спектра (свыше 4000 Гц). Для оценки звукопоглощающих свойств исследованных образцов материалов, в зависимости от достигаемых диапазонных значений нормального коэффициента звукопоглощения  $\alpha_n$ , исследованные семейства марок группировались в обособленные отдельные категории с соответствующим ранжированием уровня достигаемого акустического качества.

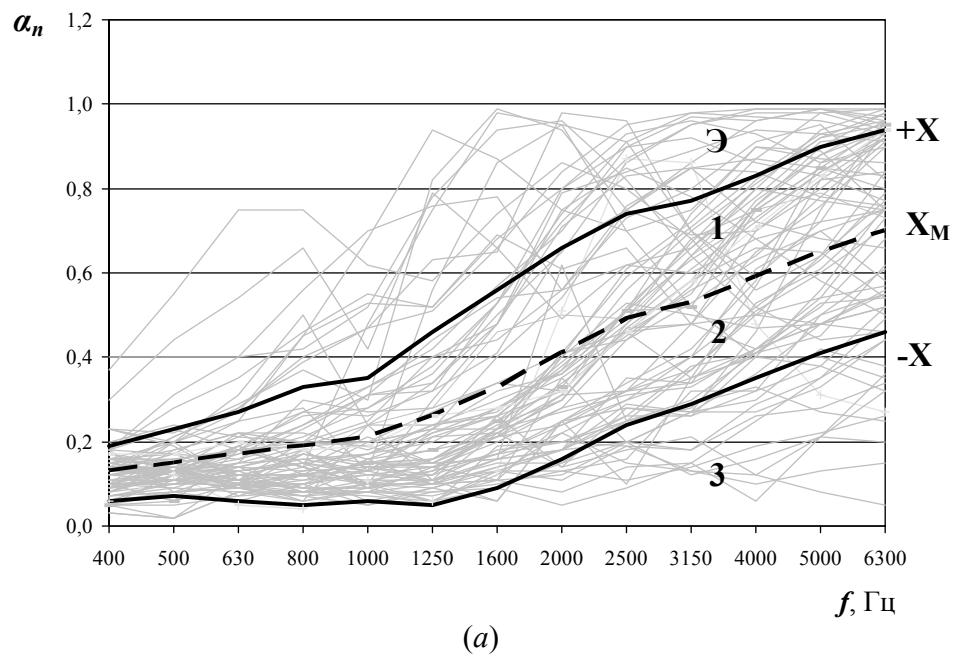
На основе проведенных расчетов оценочных параметров звукопоглощающих материалов было установлено их соответствующее ранжирование по категориям шумопонижающей эффективности в диапазоне частот, охватываемом 1/3-октавными полосами с центрами 400...6300 Гц. Исследованные образцы звукопоглощающих материалов были распределены по категориям: «высокой» эффективности (**категория экстра**), в которых значения нормального коэффициента звукопоглощения  $\alpha_n$  находятся выше значений верхней границы (+ $X$ ) доверительного интервала; «повышенной» эффективности (**категория 1**) – выше значений математического ожидания ( $X_M$ ) в интервале от  $X_M$  до + $X$ ; «средней» эффективности (**категория 2**) – ниже значений математического ожидания ( $X_M$ ), простирающегося вплоть до нижней границы (- $X$ ) доверительного интервала; «низкой» эффективности (**категория 3**)

– сосредоточенной ниже определенных значений нижней границы ( $-X$ ) доверительного интервала. При этом отнесение конкретной марки звукопоглощающего материала к той или иной категории шумопонижающей эффективности лимитировалось минимальными значениями нормального коэффициента звукопоглощения  $\alpha_n$ , замеренными во всем ранжируемом диапазоне 1/3-октавных полос частот 400...6300 Гц. Таким образом, конкретная марка плосколистового звукопоглощающего материала относилась к той категории шумопонижающей эффективности, которая определялась 1/3-октавными полосами частот с наименьшим значением нормального коэффициента звукопоглощения  $\alpha_r$ .

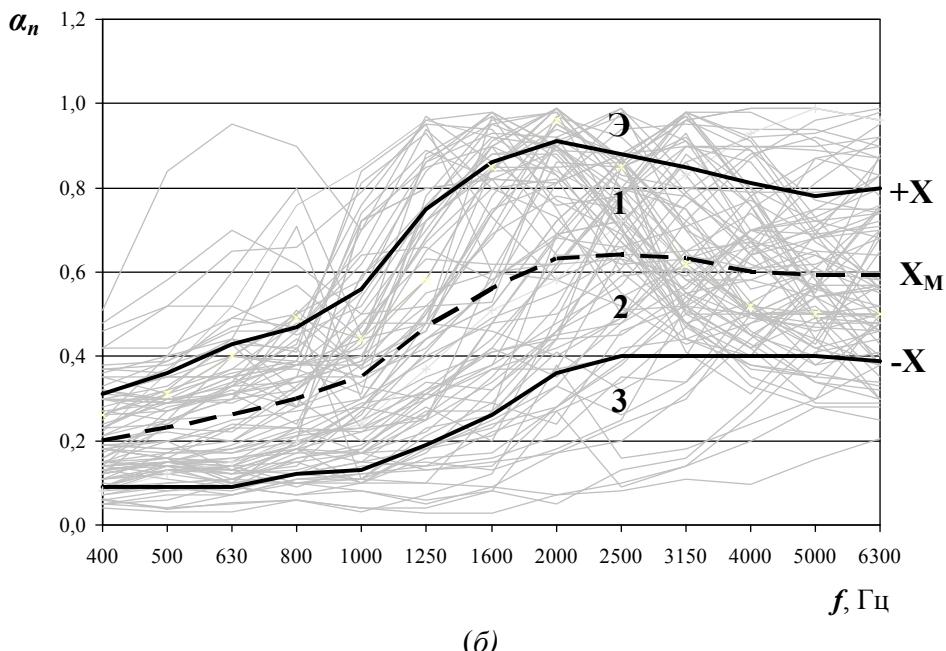
Из результатов проведенных исследований (рис. 3.2,а) следует, что ширина доверительного интервала значений нормального коэффициента звукопоглощения  $\alpha_n$  массива звукопоглощающих материалов без облицовочного слоя составляет 0,13...0,50, причем наибольший разброс значений наблюдается в частотном диапазоне 1250...6300 Гц (0,41...0,50). Меньшая ширина доверительного интервала значений нормального коэффициента звукопоглощения  $\alpha_n$  наблюдается в диапазоне частот 400...1000 Гц и составляет 0,13...0,29. Результаты оценки звукопоглощающих свойств образцов звукопоглощающих материалов с облицовочным слоем (рис. 3.2,б) свидетельствуют о более равномерном (относительно образцов без облицовочного слоя) изменении ширины доверительного интервала значений нормального коэффициента звукопоглощения  $\alpha_n$ , которая составляет 0,34...0,48 – для диапазонов частот 1000...1250 Гц, 3150...6300 Гц, с достижением наибольших значений в диапазоне 1600...2500 Гц (0,55...0,60).

Наиболее высокой категорией шумопонижающей эффективности (категория Э) не обладает ни одна из марок исследованных плосколистовых звукопоглощающих материалов. Это обусловлено преимущественно тем, что высокие значения верхней границы доверительного интервала в диапазоне частот 400...1600 Гц определяются материалами, обладающими высокой звукопоглощающей эффективностью в указанном диапазоне, при существенно (до 50%) более низких значениях – в диапазоне высоких частот (свыше 2000 Гц). К таким звукопоглощающим материалам относятся марки материалов, имеющих преимущественно утолщенные пористые слои (свыше 35 мм) и содержащих облицовочные защитно-декоративные слои, наделенные пониженной динамической жесткостью.

Таким образом, к высшей категории (Э) шумопонижающей эффективности может быть отнесен только «абстрактный идеализированный» тип звукопоглощающего материала, характеризующийся высокими значениями нормального коэффициента звукопоглощения  $\alpha_n$  во всем исследуемом диапазоне 1/3-октавных полос частот 400...6300 Гц. Следует заметить, что получению звукопоглощающего материала категории Э способствуют технологические процедуры их объемного или поверхностного структурирования с сообщением свойств выраженной анизотропии, а также путем преднамеренной гибридизации нескольких (марок) различного типа пористых структур материалов, обладающих высокой звукопоглощающей эффективностью в отдельных (настроенных) диапазонах частот (например, в 1/3-октавах с центрами 400...1600 Гц и 2000...6300 Гц).



(a)



(б)

Рис. 3.2. Нормальный коэффициент звукопоглощения  $\alpha_n$  образцов плосколистовых звукопоглощающих материалов, не содержащих (а) и содержащих внешний облицовочный слой (б)

В исследованном массиве различных типов и марок плосколистовых звукопоглощающих материалов наиболее эффективные относятся к категории 1. В частности, из результатов анализа полученных значений нормального коэффициента звукопоглощения  $\alpha_n$  материалов без облицовочного слоя следует, что наиболее высокими звукопоглощающими свойствами (категория эффективности – 1) обладают следующие марки:

- открытаячеистый пенополиуретан – АА 12,5 (ЗАО НПП «Тэкникал Консалтинг», Россия, г. Тольятти);
- открытаячеистый пенополиуретан (ОАО НПФ «Росэкопласт», Россия, г. Александров);

- открытаячестый пенополиуретан – 3B0 864 721 – PUR/POP (ф. «Молан», Германия);
- открытаячестый пенополиуретан – NORMOS-3160 (ф. «Ректисель», Бельгия);
- нетканое полотно Struto из неорганических волокон (ОАО «Химэксформ», Россия, г. Балаково);
- отходный (вторичный) открытаячестый пенополиуретан (ф. «Плама», Словения).

Эффективностью категории 1 из семейства оцененных звукопоглощающих материалов с облицовочным слоем обладают следующие типы и марки:

- AA 25 SMT и AA 12,5 SMT (ЗАО НПП «Тэкникал Консалтинг», Россия, г. Тольятти);
- LA 25 S-E и LA 12,5 S-E (производства ф. «Персторп-Антифон», Швеция);
- Flockefelt 30/2200 (ф. Catenza S.A., Испания);
- ATM-IMK (ЗАО «Электрон Плюс», Россия, г. Тольятти);
- Шумоизол (ОАО НПФ «Росэкопласт», Россия, г. Тверь).

Материалы марок «АЦМ-100» и «JCJ» (производства ф. «АЦМ», Словения) из-за низких значений нормального коэффициента звукопоглощения  $\alpha_n$  в частотном диапазоне 400...2000 Гц относятся к категории 2. Тем не менее данные материалы могут считаться приемлемо эффективными для отдельных практических применений в ограниченной (свыше 2500 Гц) области поглощения высокочастотного излучения диапазона звукового спектра. Материалы категории 3 (частично – категории 2) обладают существенно более низкими значениями  $\alpha_n$  во всем исследованном частотном диапазоне 1/3-октавных полос частот 400...6300 Гц. Это обусловлено не только их специфическими структурными и физическими характеристиками, но и малыми толщинами пористых слоев образцов этих материалов (4...6 мм).

Представленная информация о результатах измерений значений нормального коэффициента звукопоглощения  $\alpha_n$  и установленной категорийности шумопонижающего качества промышленно производимых звукопоглощающих материалов может быть использована как непосредственными разработчиками и производителями структур звукопоглощающих материалов и полномасштабных цельноформованных (плоско-листовых) шумопонижающих деталей (обивок, панелей, прокладок), так и специалистами научно-технических центров исследований и проектирования транспортной, энергетической, производственно-технологической и бытовой техники, в процессах расчетного моделирования, экспериментальной акустической доводки прототипов деталей, узлов и систем. В то же время данную информацию целесообразно использовать в исследовательских работах по формированию эффективных звукоизоляционных структур с соответствующим подбором составного звукопоглощающего слоя в композитных многослойных звукоизоляционных структурах, включающих плотный весовой звукоотражающий слой или же верхний уплотненный пористый слой, обладающий более высоким сопротивлением продуванию воздушным потоком и повышенным волновым сопротивлением. Весьма важным являются также подбираемые комбинационные сочетания пористых звукопоглощающих структур с ковровыми покрытиями с образованием звукоизоляционных структур типа интегральных и псевдоинтегральных ковров пассажирских помещений (кабин водителей) и багажных отделений автотранспортных средств.

## **4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ТИПОВ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

### **4.1. Исследования звукопоглощающих свойств панельных образцов материалов с перфорированными пористыми структурами**

Как показывают оценочные исследования серийных образцов звукопоглощающих материалов, используемых в конструкциях автотранспортных средств, весьма часто они наделены недостаточно высокой эффективностью поглощения звуковой энергии. Очевидными причинами их неудовлетворительных акустических характеристик могут являться слабые звукопоглощающие свойства пористого слоя таких материалов, не-оптимальное пространственное размещение относительно доминирующего источника излучения звука, относительно малые габариты пористого звукопоглощающего слоя, высокая динамическая жесткость лицевого защитного (декоративного) слоя, низкая степень звукопрозрачности составных слоев (лицевых, адгезионных, термоизоляционных и пр.). В связи с этим становится актуальной задача комплексного улучшения конструкций и технологий производства указанного семейства деталей.

Проведенные экспериментальные исследования свидетельствуют, в частности, что увеличение степени поглощения звуковой энергии малогабаритными автомобильными деталями (обивками, панелями, прокладками) может быть достигнуто за счет выполнения в структурах пористого слоя звукопоглощающих материалов соответствующего рационального перфорирования. Экспериментальные исследования структурированных образцов звукопоглощающих материалов проводились с использованием лабораторно-стендовой установки «Кабина Альфа». Оценочным параметром звукопоглощающих свойств являлся «реверберационный коэффициент звукопоглощения»  $\alpha_r$  и эквивалентная площадь звукопоглощения  $A$ .

Перфорирование монолитного слоя пористой структуры материала плосколистовой звукопоглощающей панели (рис. 4.1) является одним из эффективных приемов структурирования, вызывающим образование чередующихся зон локальных снижений динамических жесткостей объемной структуры материала пористого слоя. В зонах, непосредственно примыкающих к периметрам (свободным краям) перфорированных отверстий, увеличивается их динамическая податливость и растут деформации упругого пористого скелета звукопоглощающего материала. Это, соответственно, усиливает механизм преобразования звуковой энергии в тепловую, что способствует возрастанию эффектов поглощения энергии падающих звуковых волн этими чередующимися податливыми зонами перфорированных звукопоглощающих панелей. В процесс поглощения звуковой энергии включаются также образованные открытые поверхности пористых торцевых зон отверстий перфорации. Степень перфорации пористой структуры звукопоглощающего материала характеризуется параметром «ко-

эффективент перфорации» ( $k_{nep(3n)}$ ), представляющим отношение суммарной площади проекции отверстий перфорации  $S_{nep(3n)}$  к площади лицевой поверхности сплошного неперфорированного слоя звукопоглощающего материала  $S_{nan(3n)}$ :

$$k_{nep(3n)} = \frac{S_{nep(3n)}}{S_{nan(3n)}}, \quad (4.1)$$

где  $S_{nep(3n)}$  – суммарная площадь проекции отверстий перфорации,  $\text{м}^2$ ;  $S_{nan(3n)}$  – площадь лицевой проекции поверхности неперфорированной звукопоглощающей панели,  $\text{м}^2$ .

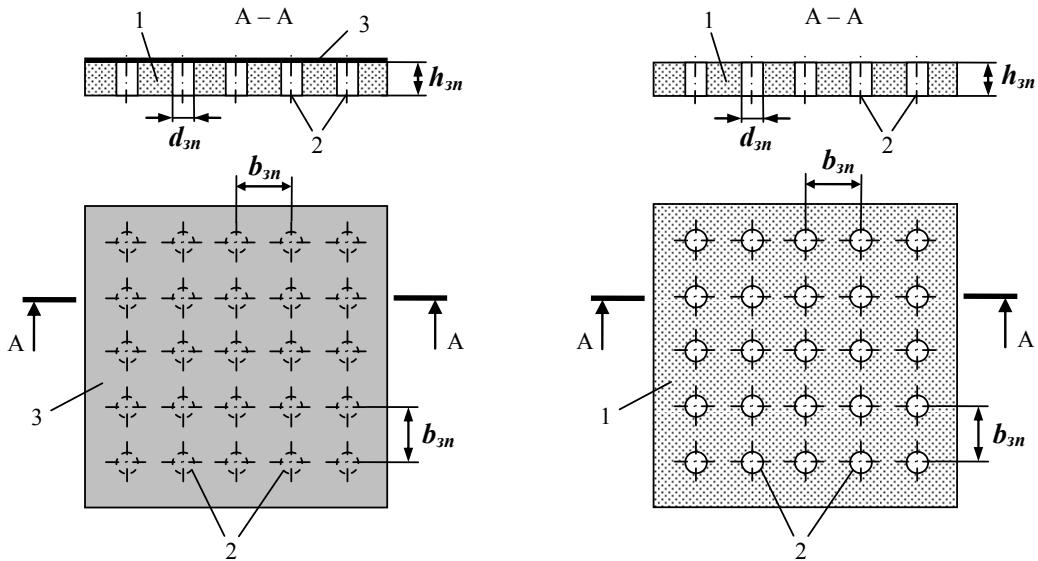


Рис. 4.1. Схема перфорированных пористых структур плосколистовых звукопоглощающих панелей с лицевым защитно-декоративным (слева) и без лицевого защитно-декоративного слоя (справа): 1 – пористый звукопоглощающий слой; 2 – отверстия перфорации; 3 – лицевой защитно-декоративный слой

Результаты проведенных экспериментов на образцах плосколистовых звукопоглощающих панелей из открытого ячеистого пенополиуретана (ППУ) толщиной листов  $h_{3n} = 12,5$  и  $h_{3n} = 25$  мм, при установленном диаметре отверстий перфорации  $d_{3n} = 6$  мм в вариантах изменения шага  $b_{3n}$  (50, 25 и 12,5 мм) и, соответственно, образованного числа отверстий перфорации (360, 1520, 6240), указывают на рост значений реверберационного коэффициента звукопоглощения  $\alpha_r$  на величину до 0,3. Наибольшие эффекты возрастания значений реверберационного коэффициента звукопоглощения  $\alpha_r$  достигаются при равенстве значений межцентровых расстояний отверстий перфорации ( $b_{3n}$ ), толщине звукопоглощающей ППУ-панели ( $h_{3n}$ ) при выполненному диаметре отверстий перфорации  $d_{3n} \approx 1/4h_{3n}$ . Значение коэффициента перфорации  $k_{nep(3n)} = 0,04$  обеспечивает наибольший рост реверберационного коэффициента звукопоглощения  $\alpha_r$  в исследованном диапазоне изменения коэффициента перфорации  $k_{nep(3n)} = 0,01...0,20$  (рис. 4.2).

При значениях коэффициента перфорации  $k_{nep(3n)}$ , превышающих указанный диапазон эффективности ( $k_{nep(3n)} \geq 0,04$ ), поглощение звука заметно падает. Это вызвано существенным уменьшением используемого (оставшегося) объема пористой структуры звукопоглощающей панели и, соответственно, ослаблением самого механизма преобра-

зования энергии звуковых волн в тепловую энергию в заметно меньшем объеме пористой структуры звукопоглощающей панели. Малая степень перфорации ( $k_{nep(3n)} \leq 0,04$ ), несмотря на сохранение значительного объема пористой структуры панели, преобразующей звуковую энергию, не позволяет в достаточной степени воздействовать на изменение динамической жесткости (увеличить податливость и усилить динамические деформации) пористого скелета по всей структуре звукопоглощающей панели и, тем самым, в полной мере реализовывать условия повышенного звукопоглощения.

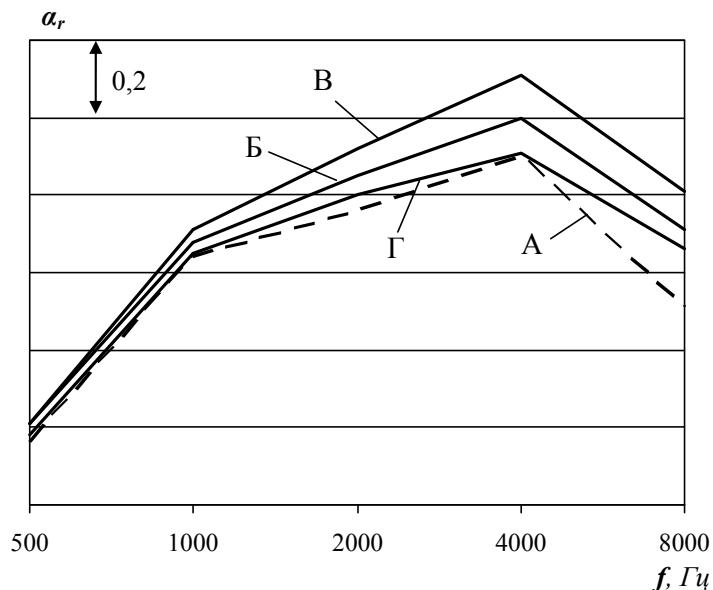


Рис. 4.2. Реверберационный коэффициент звукопоглощения  $\alpha_r$  плосколистовой ППУ-панели с лицевым защитно-декоративным слоем (толщина панели  $h_{3n} = 25$  мм) с различными межцентровыми расстояниями  $b_{3n}$  между отверстиями перфорации  $0,5h_{3n}$ ,  $h_{3n}$  и  $2h_{3n}$ : А – неперфорированная ППУ-панель; Б – перфорированная ППУ-панель ( $b = 50$  мм,  $k_{nep(3n)} = 0,02$ ); В – перфорированная ППУ-панель ( $b = 25$  мм,  $k_{nep(3n)} = 0,04$ ); Г – перфорированная ППУ-панель ( $b = 12,5$  мм,  $k_{nep(3n)} = 0,20$ )

Из результатов экспериментальных исследований, представленных на рис. 4.3, следует что наибольший эффект увеличения значений реверберационного коэффициента звукопоглощения  $\alpha_r$  (до 0,30) отмечается на образцах плосколистовых ППУ-панелей, не содержащих в своей структуре лицевого защитно-декоративного слоя (кривые В и Г). На образцах плосколистовых ППУ-панелей, облицованных защитно-декоративным слоем из алюминизированной полиэстеровой пленки толщиной 0,012 мм (кривые А и Б), наблюдается увеличение значений реверберационного коэффициента звукопоглощения  $\alpha_r$  на величину, не превышающую 0,17.

Следует отметить также, что применение плосколистовых ППУ-панелей, содержащих пористо-перфорированную структуру, закрытую монолитным (неперфорированным) защитно-декоративным слоем, может оказаться предпочтительней с точки зрения обеспечения ей более высоких долговечностных и эксплуатационных характеристик, связанных с улучшением защиты пористой структуры панели от возможного попадания в открытые торцевые зоны перфорированных отверстий пыли, воды, масла, топлива и т. п.

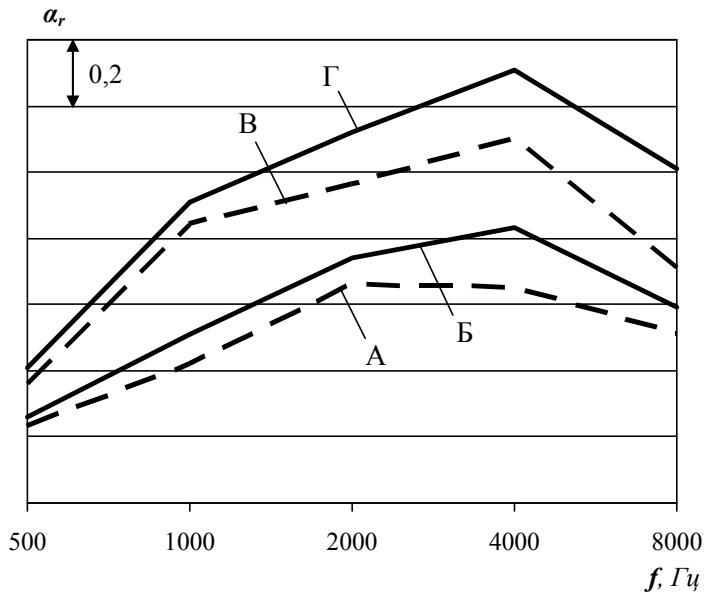


Рис. 4.3. Реверберационный коэффициент звукопоглощения  $\alpha_r$  плосколистовой ППУ-панели толщиной  $h_{\text{зп}} = 25$  мм при различных вариантах ее перфорирования отверстиями диаметром  $d_{\text{зп}} = 6$  мм: А, Б – неперфорированная и перфорированная ( $k_{\text{nep(зп)}} = 0,04$ ) ППУ-панели, содержащие в своей структуре лицевой защитно-декоративный слой; В, Г – неперфорированная и перфорированная ( $k_{\text{nep(зп)}} = 0,04$ ) ППУ-панели, не содержащие в своей структуре лицевого защитно-декоративного слоя

#### 4.2. Исследования звукопоглощающих свойств узкополосных плосколистовых образцов пористых звукопоглощающих материалов

Применение отдельных обособленных, разнесенных на заданные расстояния (с образованием воздушных зазоров между противолежащими торцевыми поверхностями), узкополосных плосколистовых звукопоглощающих панелей, имеющих в конечном итоге меньшую суммарную лицевую площадь поверхности (меньшую, чем площадь сопоставляемой по акустической эффективности лицевой поверхности монолитной звукопоглощающей панели), но в то же время образующих суммарный периметр внешних контуров, превышающий, по крайней мере, не менее чем в 1,25 раза периметр контура сопоставляемой базовой монолитной плосколистовой звукопоглощающей панели, позволяет достигать эквивалентного звукопоглощающего эффекта, который был получен при использовании указанной базовой (более габаритной), например, квадратной панели большей площади лицевой поверхности (выбранная для сравнения квадратная форма панели не может характеризоваться узкополосной геометрической формой).

Терминологическое название «узкополосная панель» подразумевает соответствующее соотношение габаритных размеров плосколистовых звукопоглощающих панелей прямоугольной формы, при котором длина такой панели превышает ее ширину не менее чем в 2 раза. В этом случае, например, исходя из предельного варианта, когда ширина и длина контуров равны, т. е. имеется звукопоглощающая панель квадратной формы, ее расчленение на две равные по площади прямоугольные звукопоглощающие панели вызовет соответствующее увеличение суммарного периметра проекций указанных двух звукопоглощающих панелей по отношению к монолитной квадратной звукопоглощаю-

щей панели в 1,5 раза. Таким образом, в 1,5 раза возрастает площадь поверхности звуко-поглощения торцевых поверхностей, а также в 1,5 раза увеличится длина краевых граневых зон звукопоглощающих панелей (соответственно росту периметров контуров), участвующих в дифракционном механизме поглощения звуковой энергии.

Если исходить из известного факта, что при заданной величине площади поверхности плоской фигуры минимальным периметром внешнего контура обладает круг, то плоская фигура типа квадрата той же площади поверхности имеет периметр уже на 12,8% больше (т. е.  $P_{кв} / P_{кр} = 1,128$ , где  $P_{кв}$  – периметр квадрата, а  $P_{кр}$  – периметр круга). Как известно, именно квадрат, обладая минимальным периметром в семействе прямоугольных геометрических фигур, отличается наиболее высокими технологическими свойствами и низкими производственно-технологическими отходами при изготовлении деталей типа прокладок, обивок, панелей. В связи с этим примем периметр такого условного квадрата за базовый (опорный), с которым будем сопоставлять периметры прямоугольников аналогичной площади поверхности (прямоугольных плосколистовых панелей) с различным соотношением длин смежных сторон, которые можно характеризовать уже как «узкополосные». Так, в частности, если принять во внимание, что длина стороны квадрата равна  $a$ , то его периметр составит  $4a$ , в то время как периметр прямоугольника той же площади поверхности со смежными сторонами  $2a$  и  $0,5a$  будет соотноситься с периметром квадрата как 1:1,25 ( $P_{np} / P_{кв} = 1,25$ ). Соответственно, суммарный периметр 8 прямоугольных плосколистовых панелей с соотношением сторон  $0,5a$  и  $0,25a$  к периметру квадрата той же лицевой площади поверхности будет относиться как 1:3 ( $P_{np} / P_{кв} = 3$ ). Аналогичным образом периметр прямоугольника с соотношением сторон  $8a$  и  $0,125a$  будет относиться как 1:4,062 ( $P_{np} / P_{кв} = 4,062$ ) и т. д. В связи с этим представляет интерес сопоставление соответствующих эффектов звукопоглощения, создаваемых пористыми плосколистовыми панелями одной и той же лицевой площади поверхности, выполненных из одних и тех же марок звукопоглощающих плосколистовых материалов, но отличающихся геометрической формой, с различной величиной периметров внешних контуров.

С этой целью при проведении акустических исследований внешний контур той или иной геометрической фигуры, включая панели с лабиринтными вырезами заданной ширины или криволинейными контурами, сопоставлялся с периметром базовой монолитной квадратной панели той же площади поверхности. Аналогичным образом рассматривался и суммарный периметр нескольких обособленных, зазорно монтируемых на опорной несущей поверхности, плосколистовых звукопоглощающих панелей. Исходя из заданной лицевой площади поверхности плосколистовой панели  $S_{пан(зп)}$ , имеющей произвольную геометрическую форму, ее сопоставляли с равновеликой площадью условного квадрата  $S_k$  ( $S_{пан(зп)} = S_k$ ), размер стороны которого  $a$  определялся как  $a = \sqrt{S_k} = \sqrt{S_{пан(зп)}}$ . Тогда периметр такого условного приведенного квадрата принимал выражение  $P_k = 4 \sqrt{S_{пан(зп)}}$ .

Влияние изменения величины суммарного периметра внешних контуров расчлененных обособленных звукопоглощающих плосколистовых панелей, обладающих идентичной площадью лицевой поверхности, на реверберационный коэффициент звукопоглощения  $\alpha_r$ , можно оценить по результатам исследования массива расчлененных панелей, состоящих из 100 малогабаритных, разнесенных между собой, идентичных прямоугольных форм размером 200×50 мм, с образованием между ними воздушных

зазоров  $t_e = h_{3n} = 25$  мм, по отношению к монолитному квадратному плосколистовому образцу той же лицевой площади поверхности 1000×1000 мм. Из представленных результатов (рис. 4.2) следует, что такого типа дробление монолитной звукопоглощающей панели на 100 идентичных прямоугольников, поверхности разнесенных между собой с образованием соответствующих воздушных зазоров между противолежащими торцами ( $t_e = 25$  мм), в сравнении с исходным сопоставляемым вариантом монолитной звукопоглощающей панели, приводит к существенному увеличению реверберационного коэффициента звукопоглощения  $\alpha_r$ . В частности, в октавной полосе с центром 2000 Гц, значение реверберационного коэффициента звукопоглощения  $\alpha_r$  увеличивается более чем на 0,5. Анализ полученных экспериментальных данных однозначно указывает на целесообразность увеличения периметра плосколистовой звукопоглощающей панели (суммарного периметра отдельных автономных звукопоглощающих плосколистовых панелей). В частности, увеличение периметра в 3 раза позволяет существенно (на 20...40%) увеличить реверберационный коэффициент звукопоглощения  $\alpha_r$ .

Как показали экспериментальные исследования образцов плосколистовых звукопоглощающих панелей лицевой площадью поверхности 1 м<sup>2</sup>, имеющих различную геометрическую форму, применение прямоугольной плосколистовой панели (2000×500 мм) при такой же лицевой площади поверхности, как у квадратной (1000×1000 мм), позволило увеличить величину реверберационного коэффициента звукопоглощения  $\alpha_r$ , регистрируемую в «характерных» (с максимальными значениями реверберационной площади звукопоглощения  $\alpha_r$ ) октавных полосах частот с центрами 2000 Гц, 4000 Гц, не менее чем на 0,1 (рис. 2.3).

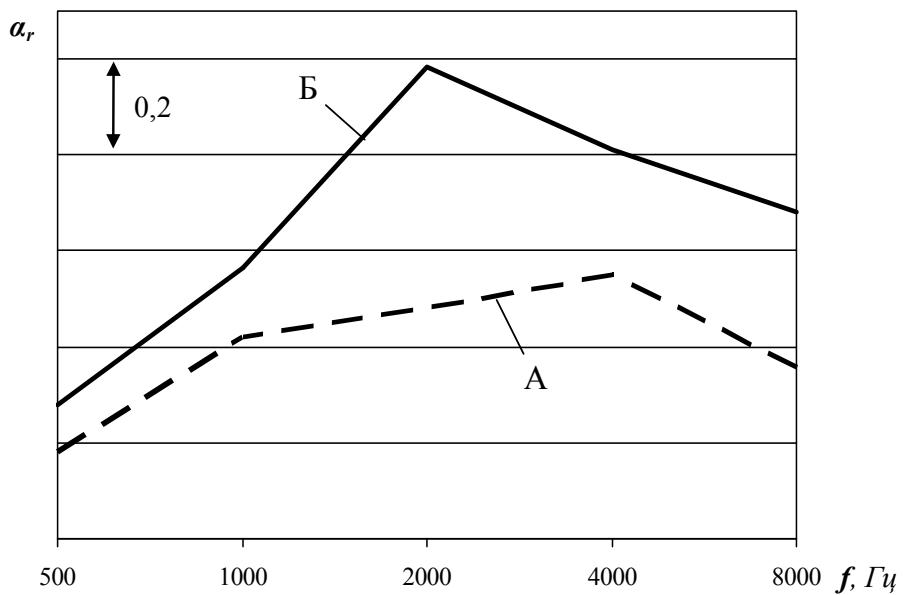


Рис. 4.4. Реверберационный коэффициент звукопоглощения  $\alpha_r$  в вариантах монолитной плосколистовой панели и при ее дроблении на 100 идентичных панелей, с образованием воздушных зазоров ( $t_e = 25$  мм) между противолежащими торцами: А – монолитная плосколистовая ППУ-панель; Б – плосколистовая ППУ-панель раздроблена на 100 идентичных малогабаритных панелей размером 200×50 мм, располагаемых с воздушными зазорами 25 мм между противолежащими торцами; ППУ – открытоячеистый пенополиуретан

Эффект реализации повышенного звукопоглощения неквадратных по форме узкополосных панелей обусловлен не только увеличением площади поверхности торцевых зон этих панелей, но и реализуемыми процессами дополнительного дифракционного звукопоглощения более протяженными и динамически податливыми силовому воздействию звуковых волн, свободных контурных (граневых) краев нескольких звукопоглощающих панелей, имеющих больший периметр контуров, в сравнении с контуром сопоставляемой базовой монолитной квадратной плосколистовой панели идентичной площади лицевой поверхности (см. варианты на рис. 4.5).

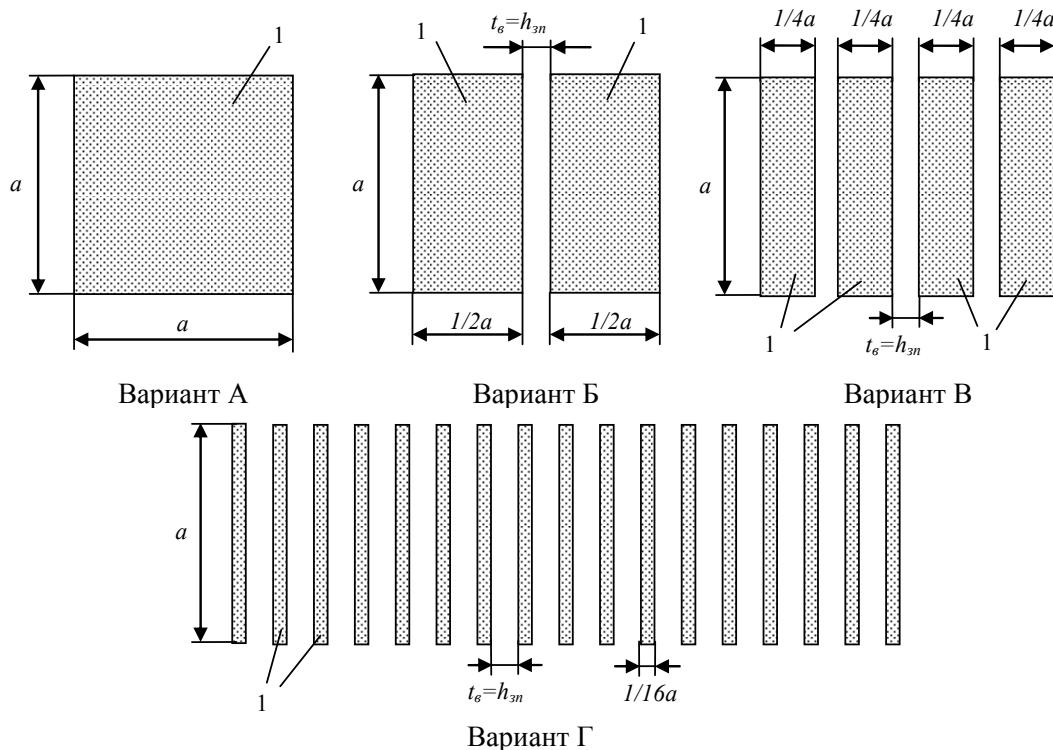


Рис. 4.5. Схематичное изображение монолитной плосколистовой панели 1000×1000 мм (вариант А) и вариантов ее расчленения на 2 (вариант Б), 4 (вариант В) и 16 (вариант Г) узкополосных панелей с последующей зазорной установкой: 1 – звукопоглощающие панели;  $t_e$  – ширина воздушного зазора между обособленными плосколистовыми звукопоглощающими панелями;  $h_{3n}$  – толщина обособленных плосколистовых звукопоглощающих панелей

Это наглядно подтверждается результатами экспериментальных исследований, представленными на рис. 4.6 (см. варианты исполнения с 2, 4 и 16 панелями при идентичной общей площадью поверхности 1 м<sup>2</sup>). Именно по этой причине плосколистовая звукопоглощающая панель, выполненная в виде узкой полосы площадью 1 м<sup>2</sup> (например, размером 10000×100 мм), обладая в 5,05 раза большим периметром внешнего контура в сравнении с квадратной размером 1000×1000 мм, обеспечивает существенно более эффективное поглощение звука, чем квадратная панель той же площади 1 м<sup>2</sup>.

Результаты проведенных исследований позволили определить, что для получения существенного (на 20...40%) увеличения значений показателя  $\alpha_r$  необходимо увеличить периметр исследуемой шумопоглощающей панели не менее чем в 3 раза. Эффективное по звукопоглощающему эффекту значение периметра плосколистовой шумо-

поглощающей панели (суммарного периметра семейства расчлененных панелей)  $P_{\text{сум}}$  может быть определено исходя из следующей зависимости:

$$P_{\text{сум}} \geq 12\sqrt{S_{\text{пан(зп)}}}, \text{ м,} \quad (4.2)$$

где  $S_{\text{пан(зп)}}$  — площадь лицевой поверхности исходной (до увеличения периметра) шумопоглощающей панели (до момента ее расчленения на узкополосные панели),  $\text{м}^2$ .

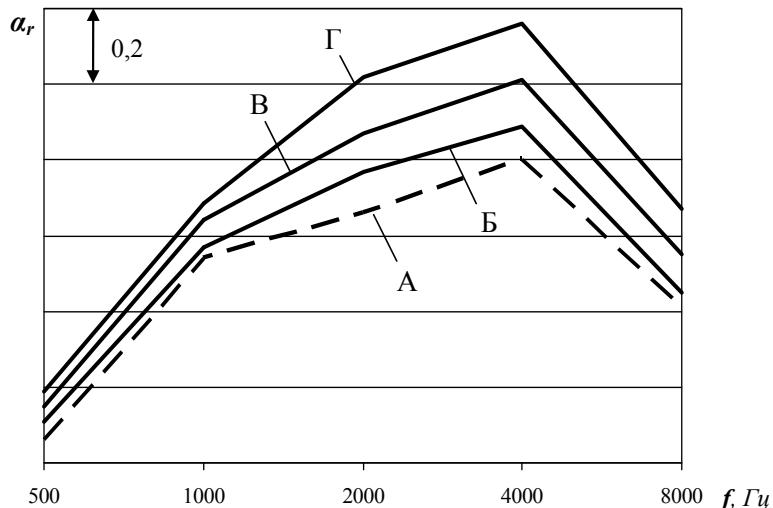


Рис. 4.6. Изменение реверберационного коэффициента звукопоглощения  $\alpha_r$  монолитной плосколистовой панели 1000×1000 мм при ее расчленении на 2, 4 и 16-составных панелей, с последующей их зазорной (25 мм) установкой на опорной поверхности пола малой реверберационной камеры «Кабина Альфа»: А — монолитная квадратная звукопоглощающая панель ( $S_{\text{пан(зп)}} = 1 \text{ м}^2$ ;  $P_{\text{моn}} = 4 \text{ м}$ ); Б — 2 узкополосные обособленные звукопоглощающие панели ( $S_{\text{пан(зп)}} = 1 \text{ м}^2$ ;  $b_{\text{зп}} = 20h_{\text{зп}}$ ;  $t_{\text{зп}} = h_{\text{зп}}$ ;  $P_{\text{сум}} = 1,5P_{\text{моn}}$ ); Б — 4 узкополосные обособленные звукопоглощающие панели ( $S_{\text{пан(зп)}} = 1 \text{ м}^2$ ;  $b_{\text{зп}} = 10h_{\text{зп}}$ ;  $t_{\text{зп}} = h_{\text{зп}}$ ;  $P_{\text{сум}} = 2,5P_{\text{моn}}$ ); Г — 16 узкополосные обособленные звукопоглощающие панели ( $S_{\text{пан(зп)}} = 1 \text{ м}^2$ ;  $b_{\text{зп}} = 3,3h_{\text{зп}}$ ;  $t_{\text{зп}} = h_{\text{зп}}$ ;  $P_{\text{сум}} = 8,5P_{\text{моn}}$ );  $b_{\text{зп}}$  — ширина узкополосных плосколистовых звукопоглощающих панелей

Применение четырёх идентичных узкополосных звукопоглощающих панелей (см. вариант *B* на рис. 2.2), изготовленных из открытогоеистого плосколистового ППУ типа AA SMT (производства ЗАО НПП «Тэкникал Консалтинг», г. Тольятти) толщиной листа 25 мм и суммарной площадью лицевой поверхности, равной 1  $\text{м}^2$ , располагаемых с воздушными зазорами 25 мм между противолежащими торцами, в сравнении с монолитной квадратной панелью 1  $\text{м}^2$ , позволяет увеличить реверберационный коэффициент звукопоглощения  $\alpha_r$  в октавных полосах частот с центрами 2000 и 4000 Гц на величину 0,2 (рис. 2.3). Применение шестнадцати идентичных узкополосных плосколистовых панелей той же общей лицевой площади 1  $\text{м}^2$ , но большего в 4 раза суммарного периметра внешних контуров, в сравнении с квадратной монолитной звукопоглощающей панелью площадью поверхности 1  $\text{м}^2$ , изготовленной из аналогичного звукопоглощающего материала, позволило увеличить реверберационный коэффициент звукопоглощения  $\alpha_r$  в указанных октавных полосах частот 2000 и 4000 Гц уже на величину 0,36.

### 4.3. Исследования звукопоглощающих свойств дробленых пористых фрагментов звукопоглощающих панелей

Другим рассматриваемым техническим приемом структурной модификации монолитных звукопоглощающих материалов и деталей, выполненных на их основе, является их фрагментальное дробление на малогабаритные обособленные образцы. Получаемые при таком дроблении крупногабаритных монолитных звукопоглощающих образцов материалов и деталей звукопоглощающие фрагменты могут иметь как различную, так и идентичную геометрическую форму. Для их изготовления в первую очередь должны использоваться продукты (исходное сырье), предназначенные для утилизационной рециклированной вторичной переработки пористых звукопоглощающих структур материалов деталей и узлов шумопоглощающих пакетов либо аналогичного типа и состояния акустических покрытий (панелей, кожухов, экранов), демонтированных с АТС, завершивших свой жизненный цикл, или производственно-технологические отходы и брак производства шумопонижающих деталей и узлов, содержащих пористые материалы, подлежащие вторичной переработке.

Представленные сопоставительные результаты исследований по определению влияния степени дробления монолитных плосколистовых звукопоглощающих панелей на малогабаритные фрагменты и их последующего хаотичного распределения на опорной монтажной поверхности на изменение величины эквивалентной площади звукопоглощения  $A$  свидетельствуют об эффективности данного приема структурной модификации. Исследования проводились на образцах плосколистовых звукопоглощающих панелей из открытоячеистого пенополиуретана марки AA25SMT, производства ЗАО НПП «Тэкникал Консалтинг» (г. Тольятти), толщиной листов 25 мм и площадью 1,2 м<sup>2</sup>.

Была оценена эффективность поочередного увеличения количества дробленых звукопоглощающих панелей путем ступенчатого уменьшения их габаритных размеров и соответствующего роста числа фрагментов размерами 100×100 мм, 100×50 и 50×50 мм, с последующим их хаотичным распределением в несколько слоев на опорной поверхности пола камеры «Кабина Альфа» площадью 1,2 м<sup>2</sup> (рис. 4.7).

Как свидетельствуют результаты исследований (рис. 4.8, 4.9), дробление одной, двух и более монолитных плосколистовых звукопоглощающих панелей на 120 малогабаритных фрагментов, размером 100×100 мм, с последующим их хаотичным распределением на опорной поверхности пола камеры «Кабина Альфа» (по ограниченной поверхности площадью 1,2 м<sup>2</sup>) вызывает увеличение значений эквивалентной площади звукопоглощения  $A$  во всем исследуемом диапазоне 1/3-октавных полос частот 400...10000 Гц на величину до 0,32 м<sup>2</sup> (до 31%), относительно базовых вариантов их монолитного исполнения.

Каждое последующее двухкратное увеличение количества малогабаритных звукопоглощающих фрагментов (до 240 и 480 шт.) при соответствующем двухкратном уменьшении их габаритных размеров (до 100×50 и 50×50 мм) приводит к соответствующему увеличению значений эквивалентной площади звукопоглощения  $A$  на величину до 0,2 м<sup>2</sup> (до 22%). Эффекты увеличения звукопоглощающей эффективности отмечаются практически во всем исследуемом диапазоне частот: 400...10000 Гц.

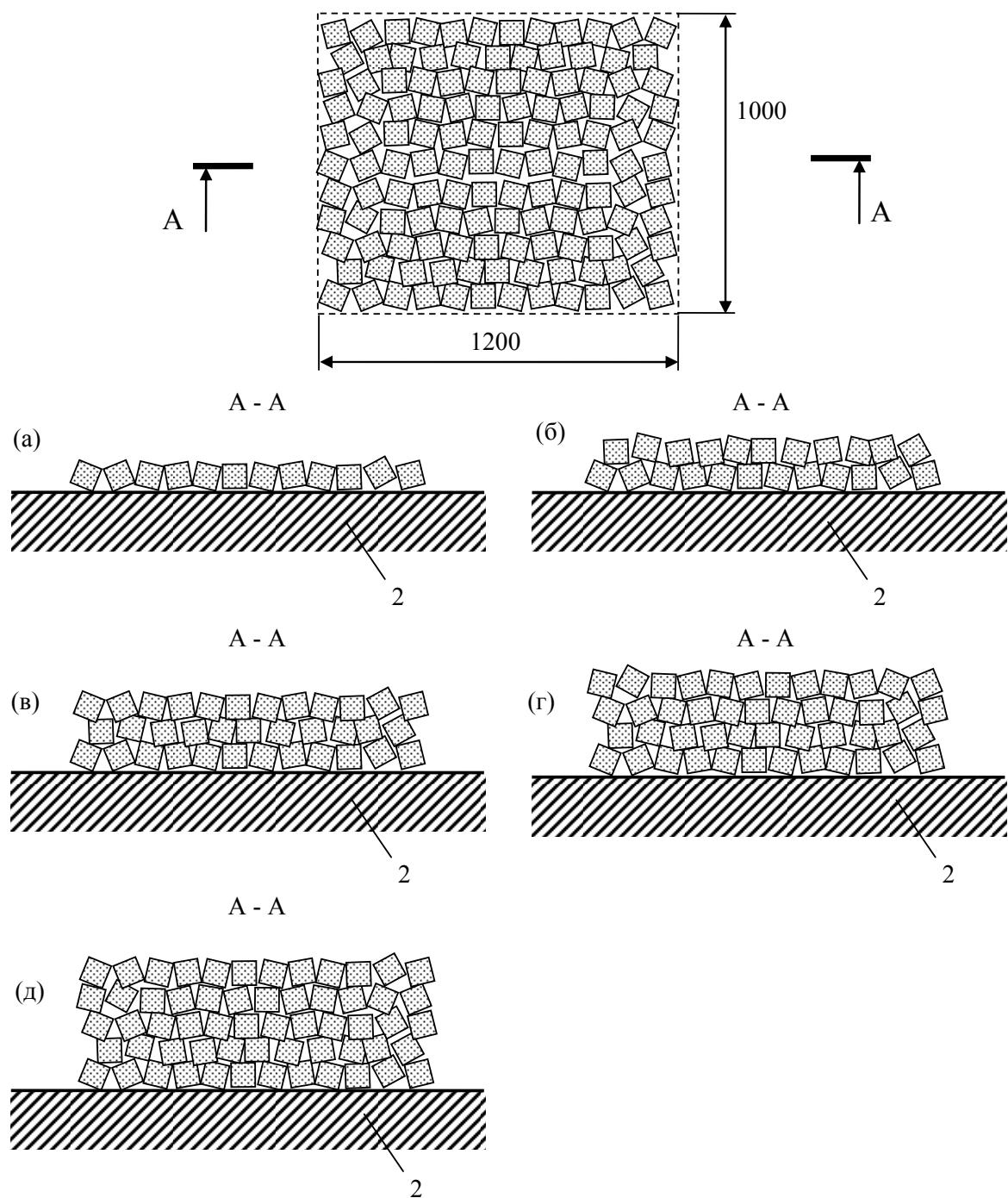


Рис. 4.7. Схема различных вариантов размещения на полу камеры «Кабина Альфа» дробленых фрагментов образцов плосколистового звукопоглощающего материала AA25SMT: 1 – исследуемые образцы звукопоглощающего материала AA25SMT; 2 – пол камеры «Кабина Альфа»; (a, б, в, г, д) – на пол камеры «Кабина Альфа» установлены малогабаритные звукопоглощающие фрагменты прямоугольной геометрической формы, произведенные из монолитных плосколистовых панелей из материала AA25SMT, соответственно 1(a), 2(б), 3(в), 4(г), 5(д) штатных крупногабаритных панелей размером 1000×1200 мм

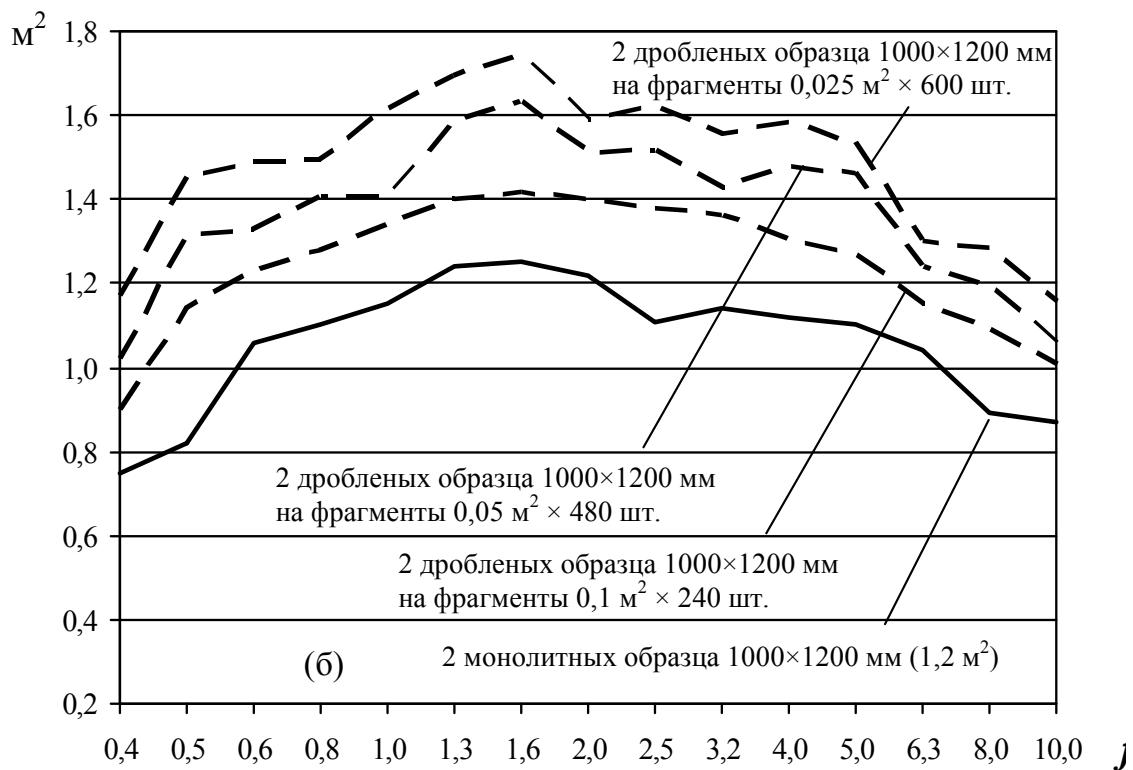
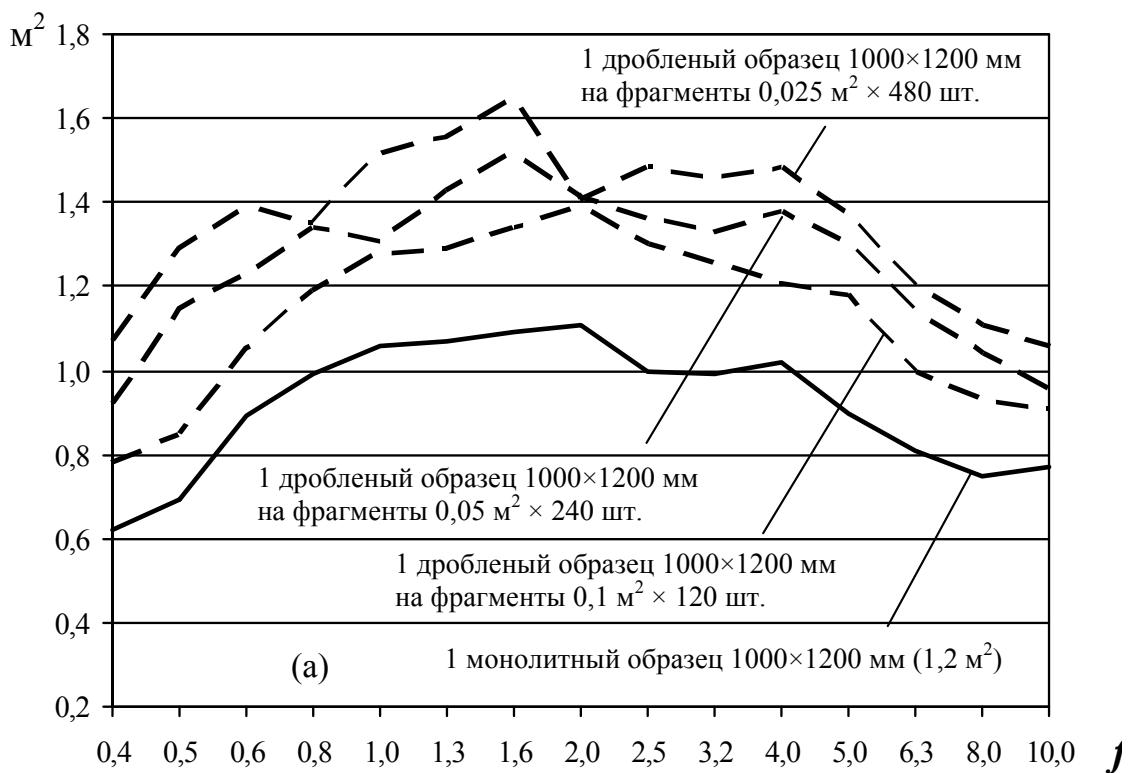


Рис. 4.8. Эквивалентная площадь звукопоглощения 1 (а) и 2 (б) сплошных образцов плосколистового материала AA25SMT и аналогичных образцов материала, каждый из которых раздроблен на фрагменты размерами 100×100 мм ( $0,1\text{ м}^2$ ), 100×50 мм ( $0,05\text{ м}^2$ ) и 50×50 мм ( $0,0025\text{ м}^2$ ), хаотично распределенные по ограниченной площади поверхности  $1,2\text{ м}^2$  пола камеры «Кабина Альфа» согласно схеме на рис. 4.7 (а–д)

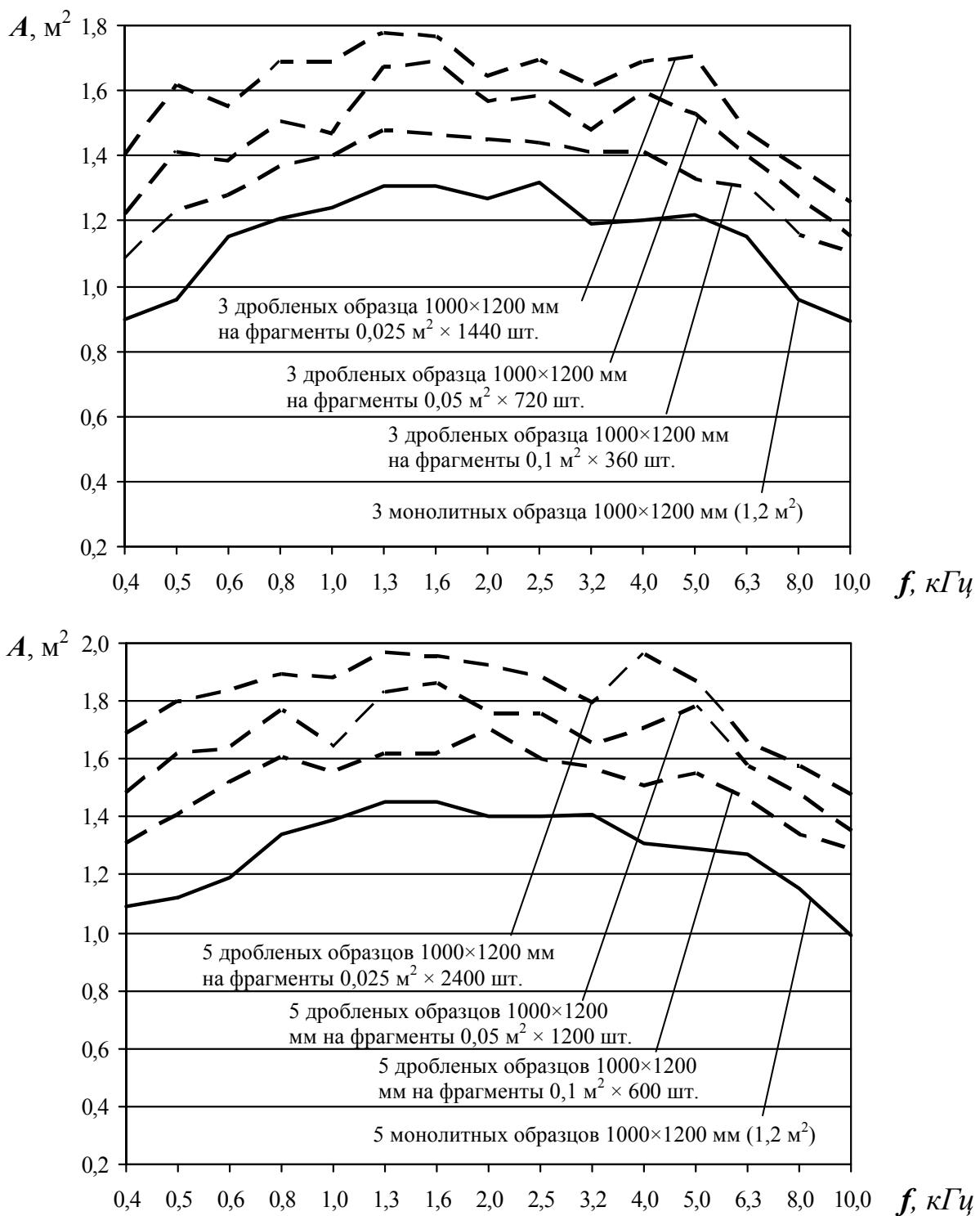


Рис. 4.9. Эквивалентная площадь звукопоглощения 3 (сверху) и 5 (снизу) сплошных образцов плосколистового материала AA25SMT и аналогичных образцов материала, каждый из которых раздроблен на фрагменты размерами 100×100 мм (0,1  $\text{m}^2$ ), 100×50 мм (0,05  $\text{m}^2$ ) и 50×50 мм (0,0025  $\text{m}^2$ ), хаотично распределенные по ограниченной площади поверхности 1,2  $\text{m}^2$  пола камеры «Кабина Альфа» согласно схеме на рис. 4.7 (а–д)

Достигаемые эффекты увеличения звукопоглощающей эффективности использованием дробленых звукопоглощающих фрагментов в сравнении с типичными применениями в технических объектах вариантами их монолитного исполнения обеспечиваются в первую очередь за счет включения в процесс поглощения звуковой энергии дополнительных многочисленных поверхностей пористых торцевых зон воздухоподуваемого слоя пористого звукопоглощающего материала, а также сообщающихся межграневых воздушных каналов и полостей, образующихся между зазорно располагаемыми фрагментами, реализации механизма дифракционного рассеивания энергии звуковых волн, возникающего на многочисленных свободных краевых (граневых) зонах обособленных дробленых пористых звукопоглощающих фрагментов. Также имеет место благоприятное воздействие процесса фрагментального дробления крупногабаритных монолитных пористых звукопоглощающих панелей на снижение динамической жесткости их пористого скелета, что дополнительно способствует повышению звукопоглощающего и вибродемпфирующего эффектов используемых модифицированных материалов.

## 5. РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННЫХ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ШУМОПОГЛОЩАЮЩИХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ВОЗДУХОВОДНЫХ КАНАЛОВ ОТОПИТЕЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ (ОВС) ПАССАЖИРСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ (КАБИН ВОДИТЕЛЯ) АТС

Разработка конструктивных вариантов структурированных шумопоглощающих элементов (покрытий) для типичных конструкций корпусных и регулирующих элементов ОВС АТС (рис. 5.1) направлена на решение актуальных задач улучшения звукоизоляции отдельных шумопонижающих элементов ОВС: уменьшение расхода звукопоглощающих материалов, снижение загрязнения окружающей среды отходами производства и решение проблем экологической утилизации акустических материалов и пакетов шумопонижающих деталей в составе АТС, завершивших свой жизненный цикл, а также существенное снижение их себестоимости [85; 96].

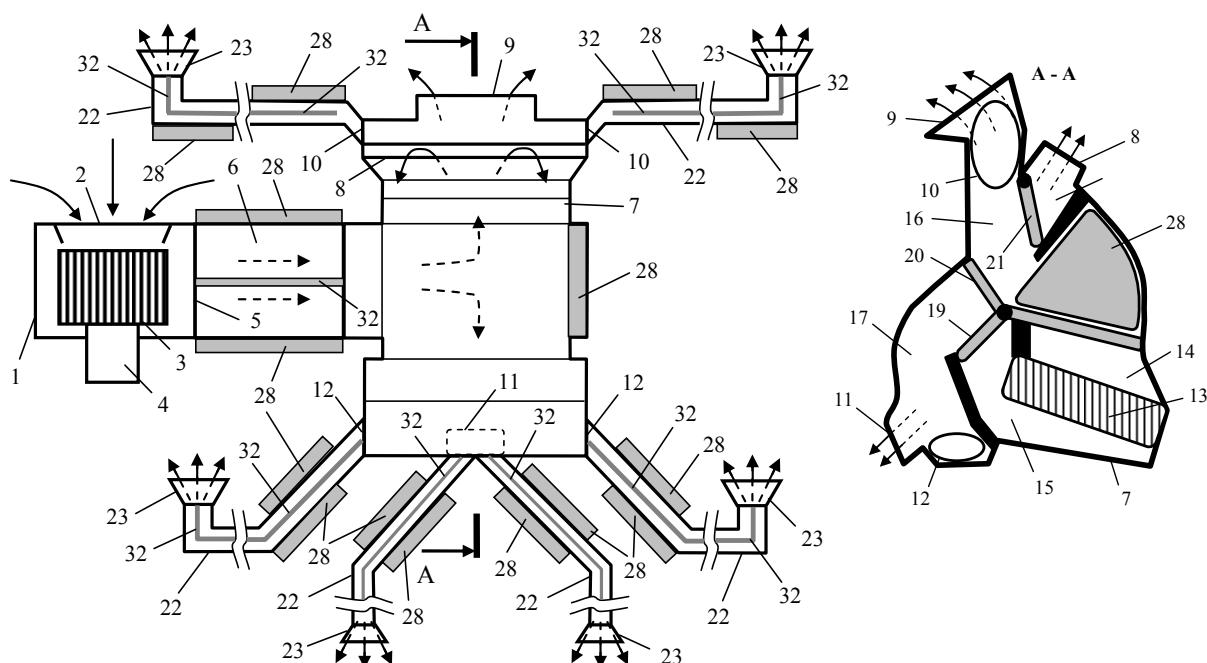


Рис. 5.1. Схема типичной конструкции ОВС пассажирского помещения (кабины водителя) АТС с установленными шумопоглощающими покрытиями в поднутрениях воздуховодных каналов, на поверхностях несущих каркасов регулирующих заслонок и делителей воздушного потока: 1 – корпус вентилятора; 2 – входное отверстие корпуса вентилятора; 3 – крыльчатка; 4 – электродвигатель; 5 – выходное окно корпуса вентилятора; 6 – соединительный воздуховод; 7 – корпус отопителя; 8...12, 14, 15 – подводящие и отводящие каналы; 13 – теплообменник; 16...18 – камеры корпуса отопителя; 19...21 – регулирующие заслонки; 22 – воздуховоды, сообщающие корпус отопителя с пространством пассажирского помещения (кабины водителя); 23 – распределяющие устройства; 28 – шумопоглощающее покрытие; 32 – делитель воздушного потока

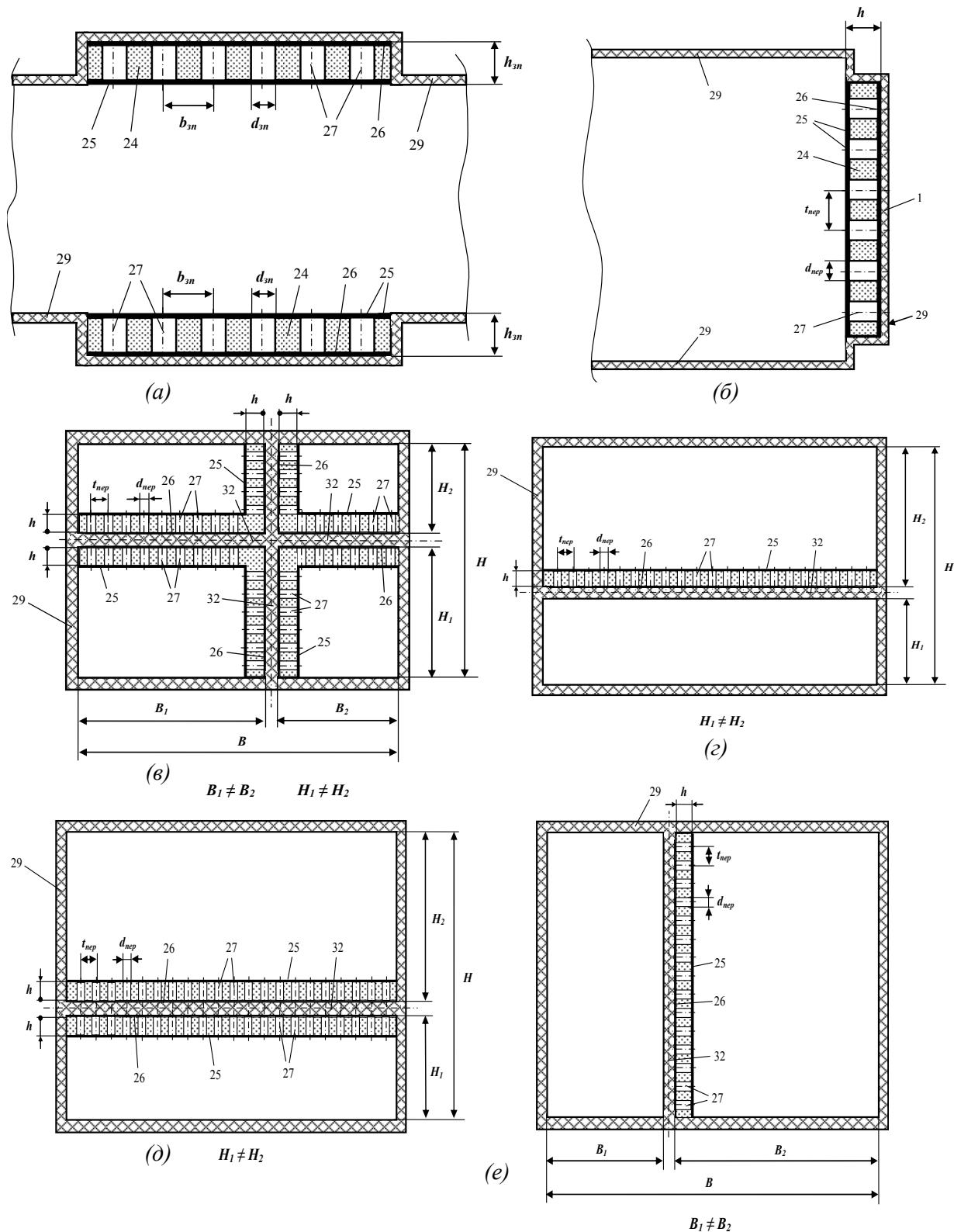


Рис. 5.2. Схемы воздуховодных элементов (a...e) ОВС с установленными на их внутренних поверхностях (a, б) и поверхностях делителей воздушного потока (в, г, д, е) структурированными шумопоглощающими покрытиями перфорированного типа

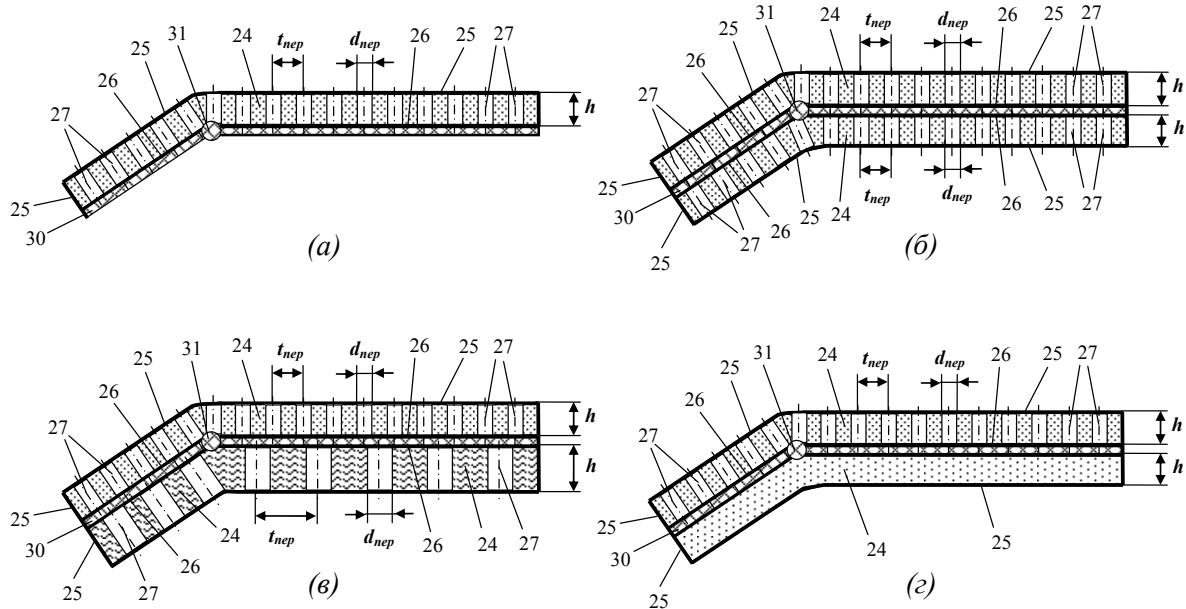


Рис. 5.3. Схемы регулирующей заслонки корпуса ОВС с установленными на ее поверхностях различными вариантами структурированных шумопоглощающих покрытий перфорированного типа (а, б, в, г): 24 – слой пористого звукопоглощающего материала; 25 – слой звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленки или ткани; 26 – монтажный адгезионный слой; 27 – отверстия перфорации; 28 – шумопоглощающее покрытие; 29 – стенка воздуховодного элемента; 30 – несущий каркас регулирующей заслонки; 31 – ось вращения регулирующей заслонки; 32 – делитель воздушного потока

Реализуемый технический результат может быть достигнут несколькими путями, в частности, за счёт рационального перфорирования пористого слоя шумопоглощающих покрытий, их рационального расчленения на обособленные плосколистовые прокладки или использования малогабаритных звукопоглощающих фрагментов заданного объема и рациональной плотности их набивки в полости шумопонижающего элемента ОВС.

Перфорирование пористого слоя шумопоглощающих покрытий (рис. 5.2, 5.3) обеспечивает усиление процессов интенсификации динамических деформаций и возникающих сопутствующих диссипативных рассеиваний энергии в скелете слоя пористого материала, усиление краевого дифракционного механизма поглощения энергии звуковых волн и увеличения активной площади поверхности звукопоглощения. Отмеченные эффекты в существенной степени обеспечивают увеличение эффективности поглощения аэродинамического шума перфорированными структурами шумопоглощающих покрытий, располагаемых на поверхностях внутренних стенок воздуховодных элементов ОВС пассажирского помещения (кабины) АТС. При этом конструкция шумопоглощающего покрытия становится меньше, снижается расход пористого звукопоглощающего материала до 20%, обеспечивается уменьшение себестоимости (цены) изделия. Таким образом, вследствие достижения более высокой звукопоглощающей способности заявляемого шумопоглощающего покрытия при использовании перфорированного слоя пористого звукопоглощающего материала в сравнении со сплошной (неперфорированной) структурой, используемой в известных технических решениях, возможно применение более тонкостенных перфорированных пористых структур, не уступающих по звукопоглощению «толстым» сплошным.

Наиболее целесообразным в такого типа перфорированных шумопоглощающих покрытиях является использование сплошной защитной звукопрозрачной газовлаго-

непроницаемой облицовочной пленки или ткани, смонтированной на поверхности слоя пористого звукопоглощающего материала. Это позволяет исключать попадание и накапливание в структуре слоя пористого звукопоглощающего материала мелких частиц, жидкостей, насекомых, исключить ее разрушение вследствие возможного замерзания попавшей в поры влаги при низких (знакопеременных) температурах эксплуатации. В воздуховодных каналах ОВС обеспечивается также снижение гидравлического сопротивления (аэродинамического противодавления) движущемуся (засасываемому, нагнетаемому) воздушному потоку в процессе обтекания гладкой пленочной, а не «шершавой», с характерным микропрофилем, пористой поверхности шумопоглощающего покрытия. Этому же способствует дополнительная (целесообразная в ряде случаев по техническим и экономическим соображениям) герметизация торцевых поверхностей шумопоглощающего покрытия аналогичного типа слоем звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленки или ткани, либо слоем образованного дополнительного газовлагонепроницаемого полимерного покрытия, либо их преднамеренным оплавлением посредством термического воздействия.

Перфорация слоя пористого звукопоглощающего материала в перфорированных шумопоглощающих покрытиях выполняется сквозными отверстиями диаметром  $d_{3n5} = (0,1...0,5)h_{3n}$  (где  $h_{3n}$  – толщина слоя пористого звукопоглощающего материала), располагаемыми с межцентровым шагом  $b_{3n5} = 5(0,5...2,0)h_{3n}$ , с соблюдением значений коэффициента перфорации в диапазоне:

$$k_{nep(3n)} = \frac{S_{nep(3n)}}{S_{cm(3n)}} = 0,02...0,2, \quad (5.1)$$

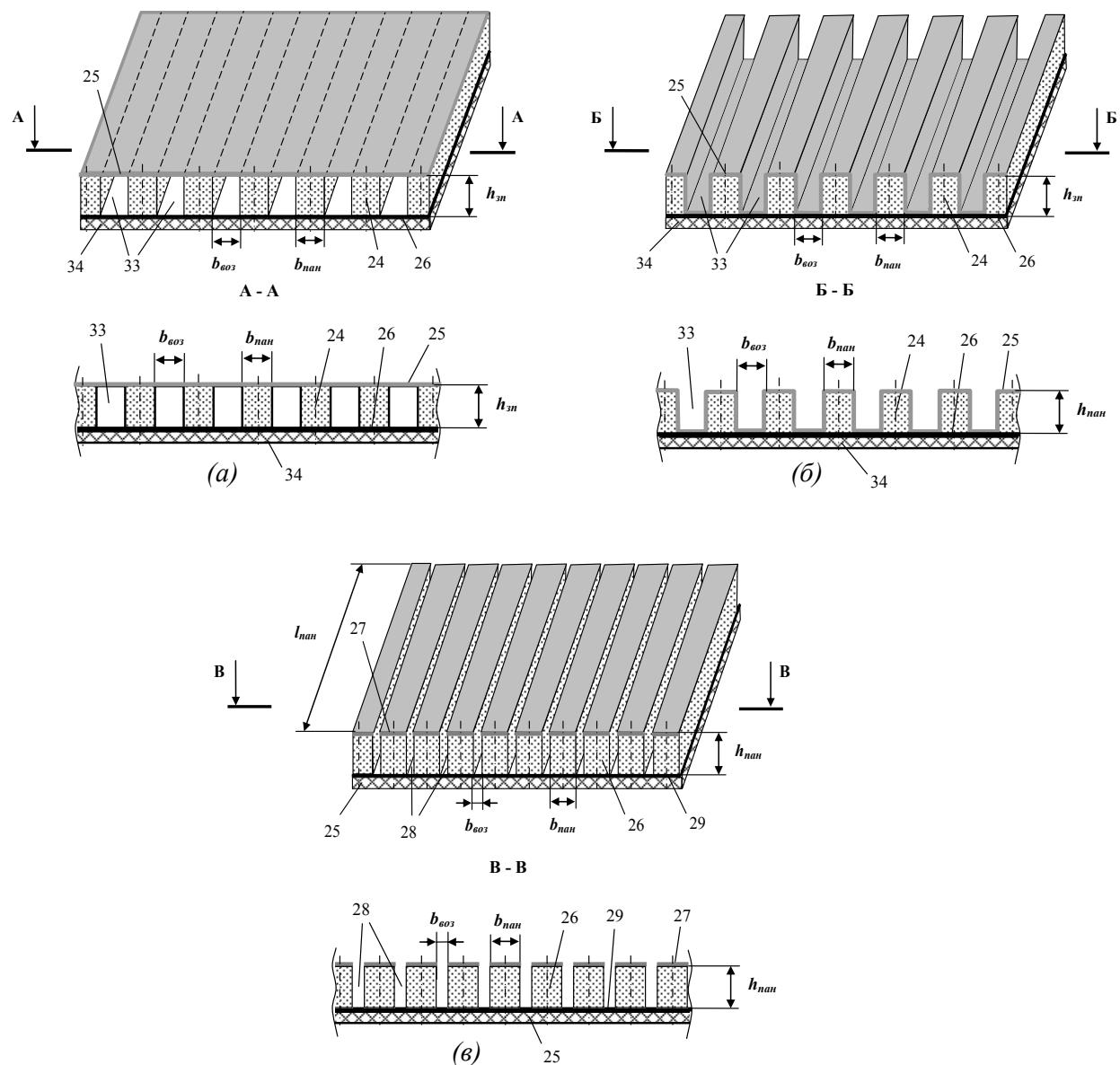
где  $S_{nep(3n)}$  – суммарная площадь проекции отверстий перфорации на плоскость поверхности пористого звукопоглощающего слоя шумопоглощающего покрытия;  $S_{cm(3n)}$  – площадь лицевой поверхности пористого звукопоглощающего слоя шумопоглощающего покрытия.

При более высокой степени перфорации слоя пористого звукопоглощающего материала (при  $k_{nep(3n)} > 50,2$ ) поглощение звуковой энергии заметно падает, что вызвано существенным уменьшением используемого объема вещества пористого звукопоглощающего материала. В это же время малая степень перфорации ( $k_{nep(3n)} < 0,02$ ), несмотря на сохранение значительного объема вещества пористого звукопоглощающего материала, не позволяет в достаточной степени воздействовать на ее динамическую жесткость (увеличить податливость и динамические деформации), заметно увеличить активную площадь поверхности звукопоглощения и усилить краевой дифракционный звукопоглощающий эффект, а следовательно, не позволяет обеспечить условия повышенного звукопоглощения (см. *также техническое описание патента РФ на изобретение RU 2456173*).

Весьма эффективным является использование шумопоглощающих покрытий, содержащих в своем составе узкополосные обособленные звукопоглощающие панели преимущественно прямоугольной формы, расположенные соосно воздуховодным каналам (элементам) ОВС АТС с образованием заданных воздушных зазоров между противолежащими торцевыми зонами панелей, облицованные слоем звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленки или ткани (нетканого полотна).

Монтаж такого типа узкополосных звукопоглощающих панелей осуществляется посредством адгезионного монтажного слоя, содержащегося на внутренних поверхностях стенок воздуховодных элементов, поверхностях несущих каркасов регулирующих заслонок и/или на поверхностях делителей воздушного потока ОВС (рис. 5.3).

Ширина (поперечное сечение) указанных узкополосных обособленных звукопоглощающих панелей составляет  $b_{3n} = (1,0 \dots 10,0)h_{3n}$ , а образуемых между ними воздушных зазоров  $b_{3n} = (0,2 \dots 3,0)h_{3n}$ , где  $h_{3n}$  – толщина узкополосных обособленных звукопоглощающих панелей. При этом суммарный периметр проекций (периметрических контуров)  $P_{cym}$  узкополосных обособленных звукопоглощающих панелей разработанного шумопоглощающего покрытия превышает не менее чем в два раза периметр проекции контура  $P_{mon}$  аналогичной по площади (толщине, структурному составу) лицевой поверхности  $S_{l}$  монолитной крупногабаритной звукопоглощающей панели (при со-поставляемом варианте футеровки воздуховодного элемента сплошной звукопоглощающей панелью, ограниченной той же поверхностной зоной, в которой находятся обособленные звукопоглощающие панели шумопоглощающего покрытия).



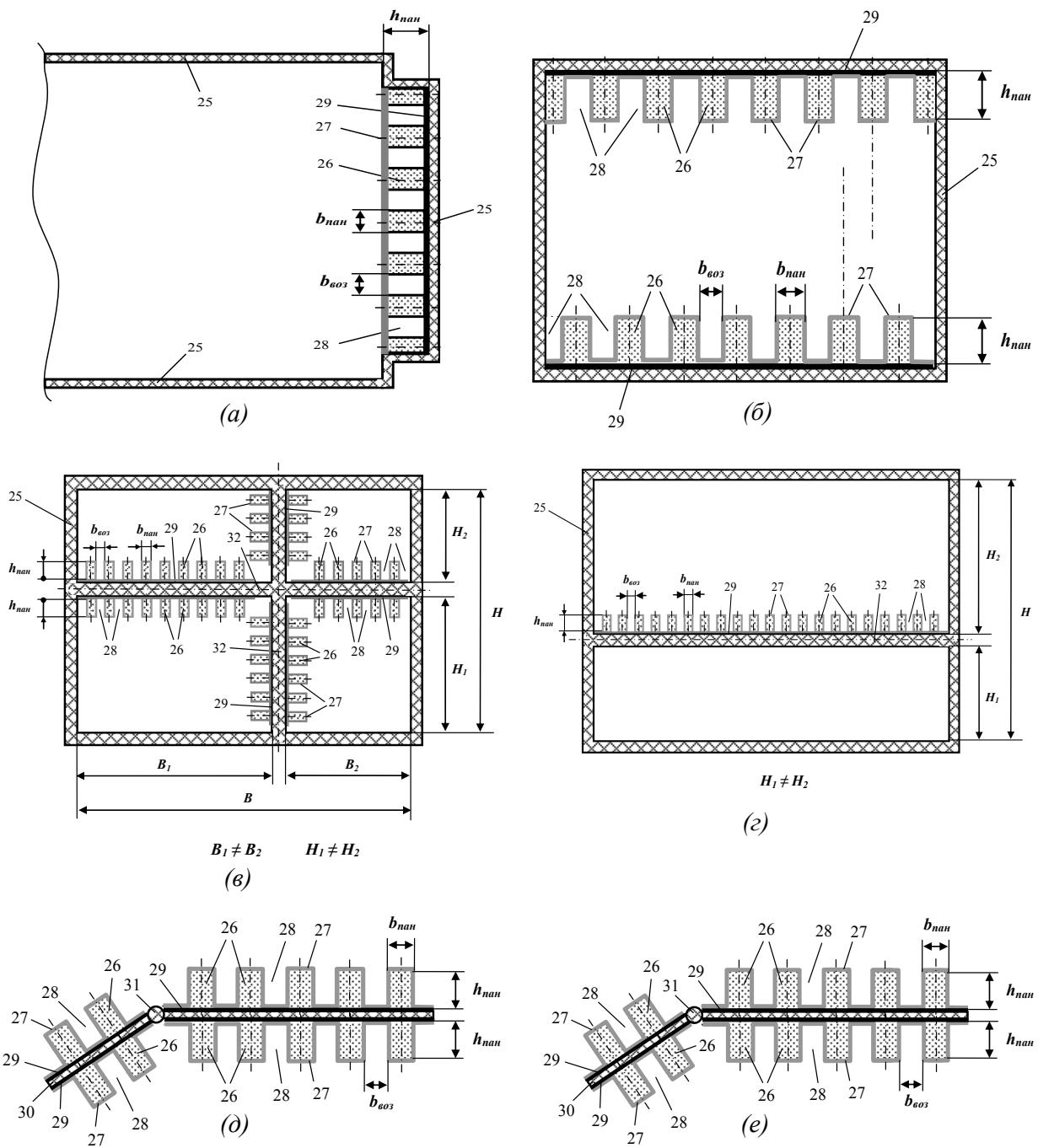


Рис. 5.5. Фрагмент сечения и поперечный разрез различных вариантов структурированного шумопоглощающего покрытия узкополосного типа, установленного на несущей поверхности воздуховода (а, б), делителя воздушного потока воздуховода (в, г), регулирующей заслонки ОВС (д, е)

Обозначения на рис. 5.4 и 5.5: 24 – шумопоглощающее покрытие; 25 – стенка воздуховодного элемента; 26 – узкополосная обособленная звукопоглощающая панель; 27 – слой звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленки или ткани; 28 – воздушный зазор, образуемый между обособленными звукопоглощающими панелями; 29 – адгезионный монтажный слой; 30 – несущий каркас регулирующей заслонки; 31 – ось вращения регулирующей заслонки; 32 – делитель воздушного потока;  $t_e$  – ширина воздушного зазора между обособленными звукопоглощающими панелями;  $b_{3n}$  – ширина обособленной звукопоглощающей панели;  $h_{3n}$  – высота обособленной

звукопоглощающей панели;  $H$  – высота полости воздуховодного элемента ОВС (без делителя потока);  $H_1, H_2$  – высота расчлененных полостей воздуховодного элемента делителем воздушного потока;  $B$  – ширина воздуховодного элемента;  $B_1, B_2$  – ширина расчлененных полостей воздуховодного элемента делителем воздушного потока.

Указанные диапазоны эффективных соотношений сопоставляемых габаритных параметров, геометрической формы и взаимного пространственного (поверхностного) расположения узкополосных обособленных звукопоглощающих панелей обусловлены необходимостью реализации процессов повышения свойств звукопоглощения за счет реализации эффективного механизма дифракции звука, возникающей на краевых зонах их граневых торцевых поверхностей, усиления механизмов динамических деформаций пористой структуры, увеличения суммарных площадей поверхностей поглощения звука за счет дополнительного включения боковых (торцевых) поверхностей узкополосных обособленных панелей, участвующих в процессе звукопоглощения. Несоблюдение отмеченных соотношений как в сторону увеличения, так и в сторону снижения их значений является нерациональным, так как не обеспечивает необходимого (не менее чем на 20%) увеличения эффективности шумопоглощающего покрытия.

Терминологическое название «узкополосная панель» подразумевает соответствующее соотношение габаритных размеров плосколистовых звукопоглощающих панелей прямоугольной формы, при котором длина такой панели превышает ее ширину не менее чем в 2 раза. В этом случае, например, исходя из предельного варианта, когда ширина и длина контуров равны, т. е. имеется звукопоглощающая панель квадратной формы, то ее расчленение на 2 равных по площади прямоугольных звукопоглощающих панели вызовет соответствующее увеличение суммарного периметра проекций этих двух звукопоглощающих панелей по отношению к монолитной квадратной звукопоглощающей панели в 1,5 раза. Таким образом, в 1,5 раза возрастает площадь торцевых поверхностей звукопоглощающих панелей, дополнительно поглощающих звуковую энергию, а также в 1,5 раза увеличится длина краевых (граневых) зон звукопоглощающих панелей (соответственно росту периметров контуров), участвующих в дифракционном механизме поглощения звуковой энергии. Также соответствующим образом возрастут периферийные поверхностные зоны звукопоглощающих панелей, обладающие большей динамической податливостью, что способствует усилиению деформационного механизма поглощения звуковой энергии (менее жесткий пористый скелет деформируется с более высокими амплитудами и соответствующими вязкоэластичными и тепловыми потерями). Как обеспечивающее приемлемый минимальный эффект роста реверберационного коэффициента звукопоглощения (не менее чем на 20%) выбрано соотношение  $\frac{P_{\text{сум}}}{P_{\text{мон}}} \geq 2,0$  (см. также техническое описание патента РФ на изобретение Ru 2442698).

При использовании шумопоглощающих элементов, содержащих дробленые обособленные малогабаритные фрагменты (рис. 5.6), в составе типичных ОВС АТС предлагается выполнить участки стенок корпусных и воздуховодных элементов со сквозными отверстиями перфорации, которые охвачены замкнутого типа звукоотражающими оболочками (кожухами). В полостях указанных оболочек помещаются дробленые обособленные звукопоглощающие фрагменты произвольной геометрической формы, являющиеся продуктами вторичной рециклированной переработки пористых структур шумопонижающих деталей или технологических отходов и брака про-

изводства пористых звукопоглощающих материалов и деталей из них. Объем каждого отдельного из обособленных дробленых звукопоглощающих фрагментов находится в диапазоне  $V_\phi = (1...30) \times 10^{-6} \text{ м}^3$ , а плотность набивки дроблеными обособленными звукопоглощающими фрагментами полостей, образованных замкнутыми звукоотражающими оболочками (кожухами), составляет  $\rho_\phi = 15...100 \text{ кг/м}^3$ .

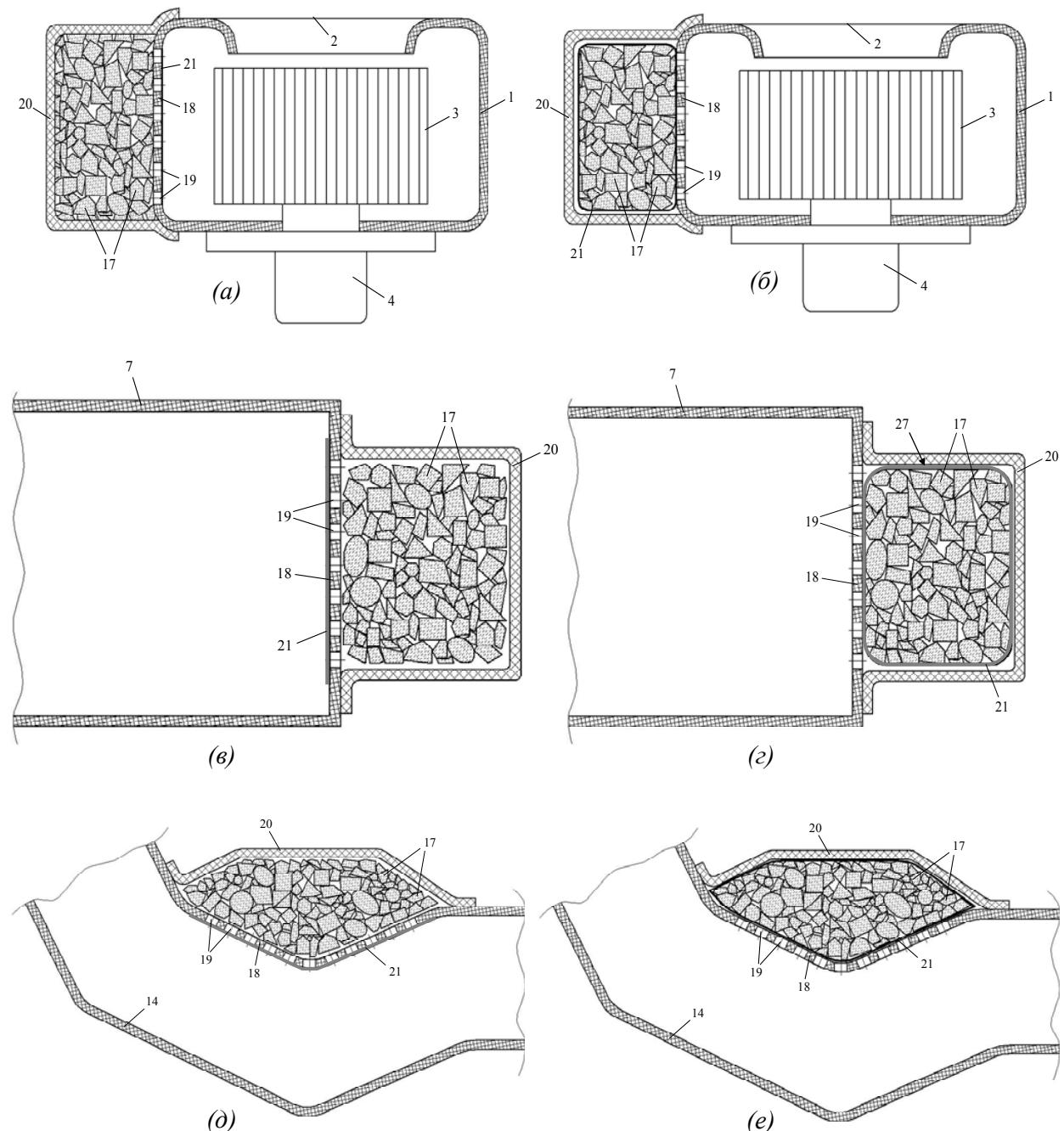


Рис. 5.6. Схема установки шумопоглощающего элемента, содержащего малогабаритные обособленные дробленые фрагменты, в состав корпуса вентилятора (а, б), корпуса отопителя (в, г), воздуховодных элементов (д, е) ОВС: 1 – корпус вентилятора; 2 – входное отверстие корпуса вентилятора; 3 – крыльчатка; 4 – электродвигатель; 7 – корпус отопителя; 14 – воздуховоды, сообщающие корпус отопителя с пространством пассажирского помещения (кабины водителя); 17 – дробленые обособленные звукопоглощающие фрагменты; 18 – несущая пластина (стенка корпусного или воздуховодного элемента); 19 – отверстия перфорации; 20 – звукоотражающая оболочка (кожух); 21 – защитный звукопрозрачный слой газовлагонепроницаемой пленки или нетканого материала

Диапазон значений объемов  $V_\phi$  используемых дробленных обособленных звукопоглощающих фрагментов, характеризующих их габаритные размеры, с одной стороны (нижний предел, равный  $1 \times 10^{-6} \text{ м}^3$ ), ограничивается необходимостью исключения их высыпания (выдувания малогабаритных дробленных фрагментов набегающим воздушным потоком) из полости звукоотражающей оболочки через отверстия перфорации.

С другой стороны (верхний предел равный  $30 \times 10^{-6} \text{ м}^3$ ), значения объемов  $V_\phi$  дробленных обособленных звукопоглощающих фрагментов, а также плотность  $\rho_\phi$  набивки ими полости (полостей) звукоотражающей оболочки ограничиваются необходимостью достижения повышенной шумопонижающей эффективности, в существенной степени определяемой (в представленном конструктивном исполнении ОВС) показателями сопротивления продуванию воздушным потоком, величинами пористости, динамической податливости, количеством граней и площадями свободных поверхностей, участвующих в процессе звукопоглощения.

Заданное значение коэффициента перфорации зоны (участка), охваченной замкнутого типа звукоотражающей оболочкой (кожухом) на несущей пластине (стенке корпусного и/или воздуховодного элемента ОВС), выбирается из условий обеспечения приемлемо высокой степени ее звукопрозрачности и определяется из соотношения

$$k_{nep(o\bar{b})} = \frac{S_{nep(o\bar{b})}}{S_{cm(o\bar{b})}} \geq 0,1, \quad (5.2)$$

где  $S_{nep(o\bar{b})}$  – суммарная площадь проекции отверстий перфорации на плоскость поверхности локальной монтажной зоны несущей пластины, охваченной (ограниченной) зоной замкнутой звукоотражающей оболочки (кожуха);  $S_{cm(o\bar{b})}$  – площадь лицевой поверхности ограниченной локальной монтажной зоны несущей пластины (стенки), охваченной зоной замкнутой звукоотражающей оболочки.

При более низких значениях коэффициента перфорации ( $k_{nep} < 0,1$ ) не обеспечивается приемлемого шумопоглощающего эффекта ввиду низкой степени звукопрозрачности несущей пластины, а соответственно, не реализуются возможности свободного прохождения звуковых волн в структуры дробленых обособленных звукопоглощающих фрагментов.

Лицевая и/или тыльная поверхности ограниченной перфорированной зоны несущей пластины (стенки корпусного и/или воздуховодного элемента ОВС) могут быть дополнительно облицованы звукопрозрачным слоем газовлагонепроницаемой пленки, соответствующей ткани или нетканого полотна. Перед установкой в полость звукоотражающей оболочки (кожуха), дробленые обособленные звукопоглощающие элементы могут быть предварительно помещены в отдельный герметичный пакетированный элемент, выполненный из соответствующего звукопрозрачного слоя газовлагонепроницаемой пленки, ткани или нетканого полотна. При этом свойства звукопрозрачности слоя газовлагонепроницаемой пленки, ткани или нетканого полотна характеризуются малым значением сопротивления продуванию воздушным потоком (тканевые или микроперфорированные пленочные слои) или низкими значениями удельной поверхностной массы, определяемыми массой, приходящейся на  $1 \text{ м}^2$  поверхности (сплошные воздухонепродуваемые пленочные слои). Значение сопротивления продуванию воздушным потоком звукопрозрачных тканей должны при этом преимущественно находиться в пределах  $20...50 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^3$ , при толщине тканевого слоя  $0,025...0,25 \text{ мм}$  и поверхностной плотности  $20...300 \text{ г}/\text{м}^2$ . Значения поверхностной плотности (удельной поверхностной

массы) воздухонепроницаемых звукопрозрачных пленок должны преимущественно находиться в диапазоне 20...70 г/м<sup>2</sup> при толщине пленки 0,025...0,1 мм (см. *также техническое описание патента РФ на изобретение RU 2011116503*).

Следует отметить, что для изготовления пористого слоя описанных выше шумопоглощающих покрытий (с перфорированной, узкополосной или дробленной структурой) могут быть использованы различные типы и марки волокнистой и/или вспененной пористых структур материалов, с отличающимися физическими характеристиками, химическим составом, толщиной, пористостью, количеством и сочетанием типов пористых слоев в составе многослойных пористых структур. В качестве материала обособленных звукопоглощающих фрагментов могут использоваться как вспененные открытоячеистые, так и волокнистые типы пористых структур. В частности, вспененные открытоячеистые типы звукопоглощающих материалов могут быть изготовлены на основе уретанового, нитрильного, винилового, бутадиен-стирольных и других полимерных составов. Волокнистые типы звукопоглощающих материалов могут быть изготовлены на основе натуральных (хлопковых, шелковых, джутовых, сизальных, льняных, конопляных и прочих или белковых животного происхождения), синтетических (акриловых, полиэстеровых, полиоксацизольных, полиимидных, углеродных, арамидных, полипропиленовых, нейлоновых и т. д.), минеральных волокон (базальтовых, керамических, стеклянных и т. д.). Защитная звукопрозрачная газовлагонепроницаемая пленка может быть выполнена полиэстеровой алюминизированной, уретановой, поливинилхлоридной и т. п. Защитный звукопрозрачный слой ткани (нетканого полотна) может быть выполнен из материала типа «малифлиз», «филтс», стеклоткань и т. п.

Отдельные конструктивно-технологические приемы совершенствования акустических характеристик ОВС АТС могут быть также позаимствованы из обширного опыта разработок низкошумных вентиляционных систем для различного типа технических объектов (производственных и энергетических установок, строительных объектов, средств воздушного и водного транспорта), которые изложены в информационных источниках, приведенных в библиографическом списке [6, 13, 15–19, 22, 24–27, 37, 88, 89, 91], и технических описаниях патентов на изобретения, приведенных в пункте 12 (стр.190–191).

## **6. РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР ОБИВОК ПАССАЖИРСКОГО ПОМЕЩЕНИЯ (КАБИНЫ ВОДИТЕЛЯ) АТС**

### **6.1. Многослойные обивки кузова с первичной (доминирующей) функцией звукопоглощения**

С целью улучшения акустической эффективности многослойных акустических структур обивок кузова АТС (далее – МАСОК), включая уменьшения расхода звукопоглощающих веществ для их изготовления и улучшения экологических параметров их производства, были разработаны различные примерные варианты их модифицированного исполнения [14, 63, 68, 75, 82, 83, 85–87, 96]. Для достижения указанного технического, экономического, экологического и социального результата разработанное семейство конструкций типа МАСОК реализует несколько комплексных (комбинированных) механизмов поглощения звуковой энергии: мембранных звукопоглотителя, батареи сообщающихся между собой перфорированными отверстиями полостей резонаторов Гельмгольца, дифракционных звукопоглощающих периферийных краевых (граневых) эффектов многочисленных хаотичным образом распределенных дробленных обособленных пористых звукопоглощающих фрагментов и многократно возросшей активной площади поверхности звукопоглощения распределенных в объемах полостей МАСОК дробленных обособленных пористых звукопоглощающих фрагментов (в сравнении с типичным базовым конструктивным вариантом сплошной монолитной пористой звукопоглощающей панели аналогичной массы и структуры звукопоглощающего вещества). Предлагаемые конструкции МАСОК содержат, по крайней мере, сопряженные между собой лицевую несущую 1 и монтажную 2 части, в которой лицевая несущая часть 1 выполнена из одного сплошного слоя акустического материала, при этом его структура наделена звукопоглощающими свойствами, а плотность превышает величину плотности акустического материала монтажной части 2 (см. рис.6.1 и 6.2). В такого типа конструктивных исполнениях МАСОК образованы разделённые тупиковые полости 3, одна из которых образована периферийной отбортовкой структуры цельноформованной лицевой несущей части 1, изготовленной из сплошного пористого воздухопропускаемого слоя материала, которая заполнена обособленными дроблёнными пористыми звукопоглощающими фрагментами 4 произвольной геометрической формы, которые преимущественно (более чем на половину заполнения объема разделённой тупиковой полости 3 или полностью) являются продуктами вторичной рециклированной переработки пористых звукопоглощающих структур материалов деталей и узлов шумопоглощающих пакетов АТС, либо аналогичного типа и состояния акустических покрытий (панелей, кожухов, экранов), используемых энергетическим и произ-

водственно-технологическим оборудованием, а также производственно-технологических отходов и брака производства шумопонижающих деталей и узлов, содержащих пористые звукопоглощающие материалы, подлежащих вторичной рециклированной утилизационной переработке. Указанные продукты вторичной переработки преимущественно демонтированы из состава АТС, завершивших свой жизненный цикл, или шумоактивного производственно-технологического и энергетического оборудования, подлежащего вторичной рециклированной утилизационной переработке. Помимо того, монтажная часть 2, по крайней мере в зоне выполнения разделённой тупиковой полости 3, может быть футерована защитным слоем звукопрозрачного (не оказывающего существенного, не более 10%, увеличения значения коэффициента отражения звуковой энергии) нетканого полотна, ткани или звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленки 5, а объем каждого из обособленных пористых звукопоглощающих фрагментов 4 находится в диапазоне

$$V_{\phi} = 8 \times (10^{-9} \dots 10^{-6}) \text{ м}^3, \quad (6.1)$$

при этом плотность набивки разделенной тупиковой полости 3 обособленными пористыми звукопоглощающими фрагментами 4 составляет

$$\rho_{\phi} = 25 \dots 60 \text{ кг/м}^3. \quad (6.2)$$

Разделённая тупиковая полость 3, по крайней мере, частично, может быть также заполнена обособленными дроблёнными пористыми звукопоглощающими фрагментами 4, в том числе изготовленными по технологиям производства из «новых» производимых листовых акустических материалов, подвергаемых последующему дроблению на фрагменты заданных форм и габаритных размеров. При этом, по стоимостным соображениям, не желательно, чтобы их количественный состав (по объему заполнения полостей) превышал количественный состав фрагментов 4, являющихся продуктами вторичной рециклированной утилизационной переработки пористых звукопоглощающих структур материалов деталей и узлов шумопоглощающих пакетов. Лицевая несущая часть 1 может быть выполнена в виде сформированного объемного каркасного элемента с внутренними разделительными перегородками, образующими семейство разделённых тупиковых полостей. Обособленные дроблённые пористые звукопоглощающие фрагменты 4 могут быть выполнены из различных типов и марок волокнистой и/или вспененной пористых структур звукопоглощающих материалов с отличающимися физическими характеристиками, различным химическим составом, толщиной, пористостью, количеством и сочетанием типов пористых слоев в составе многослойных пористых структур.

Произвольная геометрическая форма обособленных дроблённых пористых звукопоглощающих фрагментов 4 подразумевает как различную, так и идентичную их геометрическую форму, которая при этом компромиссно удовлетворяет компоновочно-монтажным, технологическим и акустическим (в отношении достижения максимального шумопоглощающего эффекта) возможностям их помещения внутри разделённой тупиковой полости 3 (семейства разделённых тупиковых полостей), образованных в монолитном слое акустического материала лицевой несущей части МАСОК.

Внешняя поверхность МАСОК может быть облицована внешним облицовочным декоративным слоем, к примеру, в виде «технологически сшитого» (адгезионно скрепленного) с ней коврового покрытия на пористой латексной воздухопропускающей или плотной воздухонепропускающей полимерной основе.

Эффективный диапазон изменения значений объемов  $V_\phi$  используемых обособленных дроблённых пористых звукопоглощающих фрагментов 4, с одной стороны (нижнее значение предела равное  $8 \times 10^{-9} \text{ м}^3$ ), ограничивается, в основном, технологическими возможностями изготовления и их последующего размещения в разделенных тупиковых полостях 3. С другой стороны (верхнее значение предела равное  $8 \times 10^{-6} \text{ м}^3$ ) значения объемов  $V_\phi$  обособленных дроблённых пористых звукопоглощающих фрагментов 4, а также плотность  $\rho_\phi$  их набивки в разделенных тупиковых полостях 3 ограничиваются необходимостью достижения повышенной акустической (звукопоглощающей) эффективности, в существенной степени определяемой реализуемыми показателями сопротивления продуванию воздушным потоком, пористости, динамической податливости и площадями свободных поверхностных граней обособленных дроблённых пористых звукопоглощающих фрагментов, непосредственно участвующих в процессе звукопоглощения.

Для обеспечения свойств высокой экологичности используемых акустических материалов в составе МАСОК в качестве дробленных обособленных пористых звукопоглощающих фрагментов акустических материалов используются рециклированные утилизируемые акустические материалы и шумопонижающие конструкции деталей и узлов, изготовленные из такого типа материалов.

Обособленные дроблённые пористые звукопоглощающие фрагменты могут быть выполнены из утилизируемых однородных или различных типов и марок волокнистой и/или вспененной пористых структур звукопоглощающих материалов с отличающимися физическими характеристиками, различным химическим составом, различной толщиной, пористостью, количеством и отличающимся сочетанием типов структур пористых слоев в составе многослойных пористых структур.

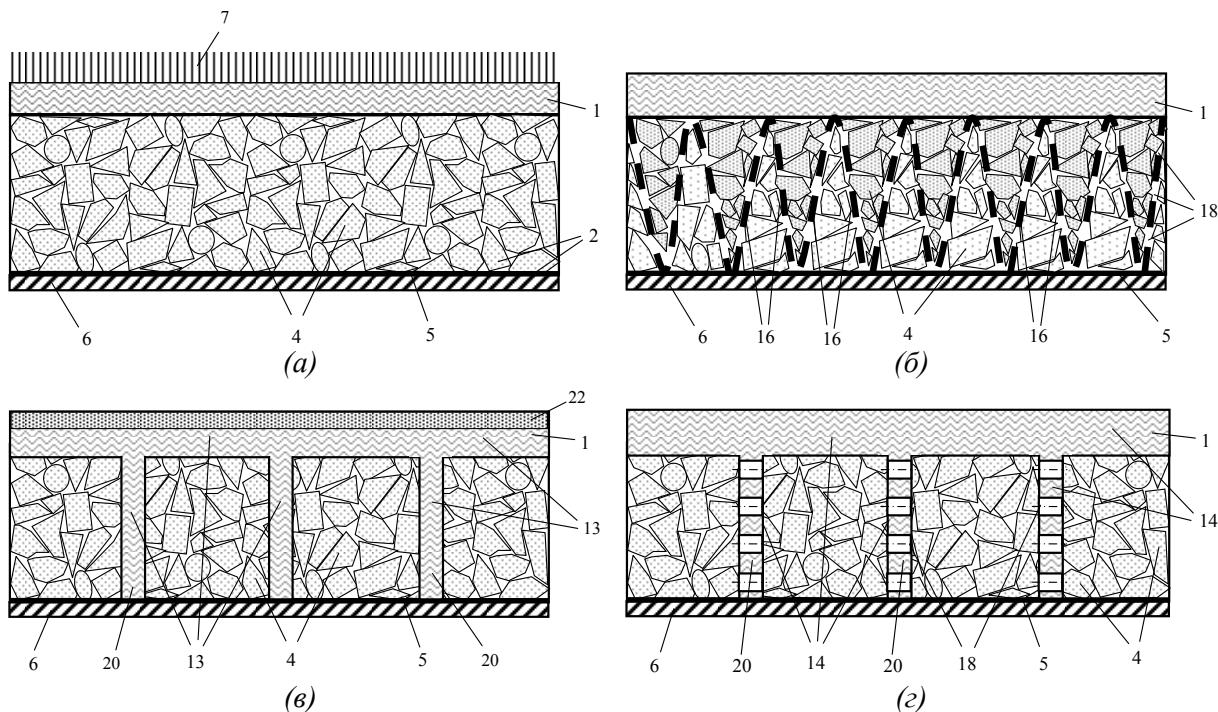


Рис. 6.1. Фрагменты сечения различных вариантов МАСОК (а, б, в, г), смонтированных на несущей тонколистовой панели АТС (панели пола кузова АТС)

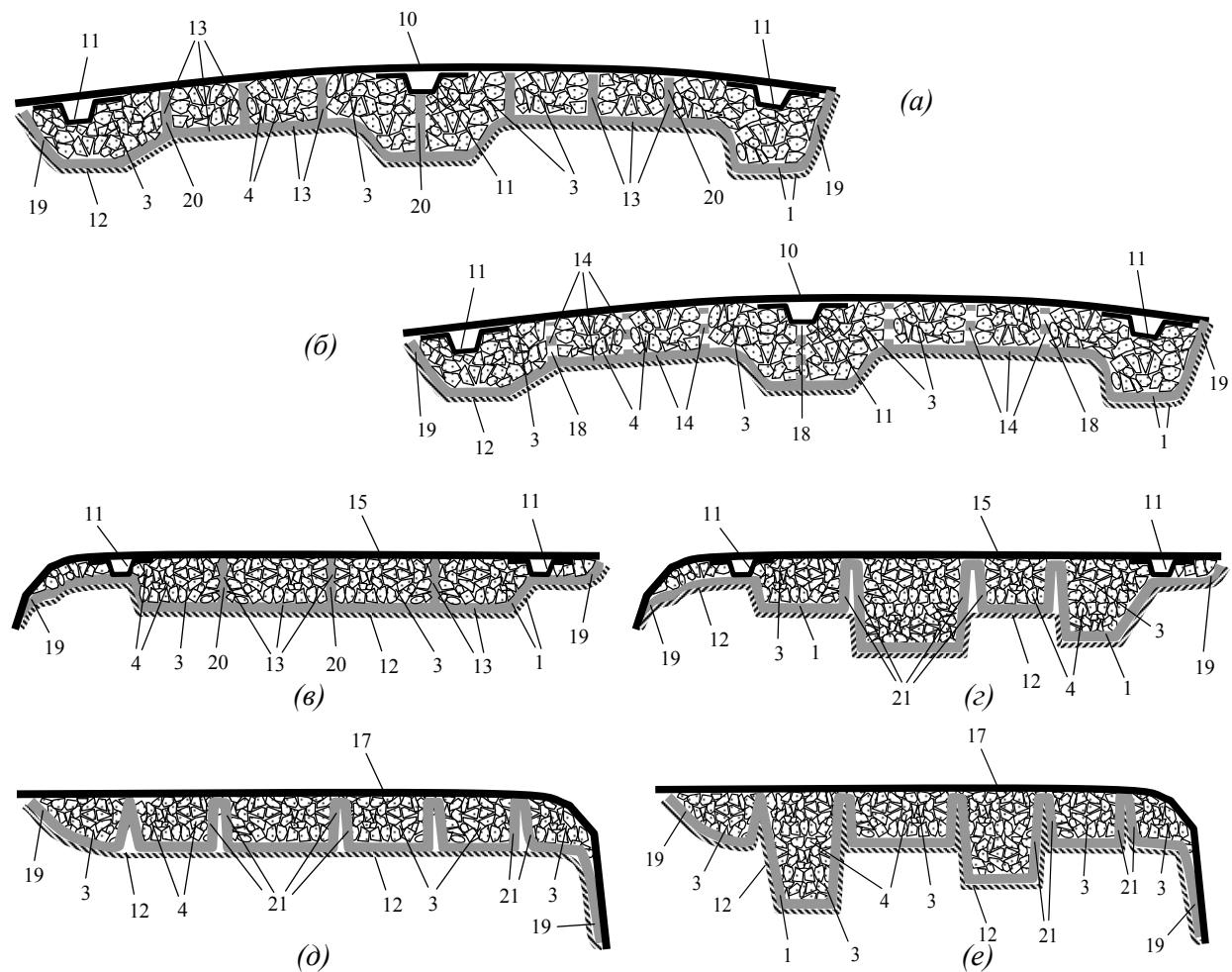


Рис. 6.2. Схема продольного сечения MACOK на примерах конструктивного исполнения обивок крыши (а, б), капота (в, г), крышки багажника (д, е), кузова (кабины) АТС

Обозначения на рис. 6.1 и 6.2: 1 – лицевая несущая часть MACOK; 2 – монтажная часть MACOK; 3 – разделенные тупиковые полости; 4 – обособленные дроблённые пористые звукопоглощающие фрагменты; 5 – защитный звукопрозрачный слой нетканого материала или газо-, влагонепроницаемой пленки; 6 – несущая тонколистовая панель АТС (например, тонколистовая панель кузова АТС); 7 – внешний облицовочный декоративный слой (например, ворсованное ковровое покрытие, нетканое полотно ворсового типа); 10 – панель крыши кузова АТС; 11 – усиливательный элемент (ребро жесткости) несущей тонколистовой панели АТС; 12 – защитно-декоративный слой звукопрозрачного материала; 13 – объемный каркасный элемент с внутренними разделительными перегородками; 14 – объемный каркасный элемент с внутренними разделительными перегородками перфорированной конструкции; 15 – панель капота кузова АТС; 16 – формообразующий внутренний гофрированный закладной перфорированный элемент; 17 – панель крышки багажника АТС; 18 – отверстия перфорации внутренних разделительных перегородок объёмного каркасного элемента; 19 – периферийная отбортовка MACOK; 20 – внутренние разделительные перегородки обивки кузова; 21 – гофрированные перегибы-складки лицевой несущей части, образующие разделенные тупиковые полости 3; 22 – уплотненный пористый воздухопродуваемый слой в составе двухслойной структуры типа «ультралайт».

Защитный звукопрозрачный слой, перекрывающий (футерующий) зону расположения разделённой тупиковой полости (семейства разделённых тупиковых полостей), входящий в состав монтажной части МАСОК и монтируемый со стороны размещения обособленных дроблённых пористых звукопоглощающих фрагментов, может быть выполнен из полиэстеровой алюминизированной, уретановой, поливинилхлоридной и других видов газовлагонепроницаемой полимерной пленки, или из звукопрозрачного нетканого материала типа «малифлиз», «филтс», стеклоткани и др. При этом толщина защитного звукопрозрачного слоя газо-, влагонепроницаемой пленки составляет 0,025...0,1 мм, а ее удельный поверхностный вес 20...70 гр/м<sup>2</sup>. Толщина защитного звукопрозрачного слоя воздухопродуваемого нетканого материала составляет 0,025...0,25 мм, удельный поверхностный вес 20...300 гр/м<sup>2</sup>, а удельное сопротивление продуванию его воздушным потоком 20...50 Н×с×м<sup>-3</sup>. Использование подобных типов защитных звукопрозрачных слоев позволяет не только сохранять высокие звукопоглощающие свойства сопрягаемым с ними пористых структур МАСОК, но и исключить попадание в разделённые тупиковые полости пыли, влаги, аморфных частиц и т. п., не допускать биологического разложения частиц материала с появлением неприятных запахов, а также предотвращать возможное высыпание малогабаритных обособленных дроблённых пористых звукопоглощающих фрагментов из разделённых тупиковых полостей МАСОК. В качестве материала защитного звукопрозрачного слоя допускается применение марли, мелкоячеистой полимерной сетки или микроперфорированной пленки (например, для варианта исполнения обивки крыши кузова АТС), когда не предъявляются повышенные требования к исключению попадания различных частиц и влаги, а требуется лишь обеспечить предотвращение высыпания малогабаритных обособленных дроблённых пористых звукопоглощающих фрагментов с сохранением свойств звукопрозрачности такого типа защитного слоя.

## **6.2. Многофункциональные обивки кузова с вторичной функцией звукопоглощения**

Конструкции современных колесных транспортных средств, в частности легковых автомобилей, содержат несущий кузов, со смонтированными в пространстве его пассажирского помещения *многофункциональными обивками* [55, 59, 61–66, 86, 87]. Одной из таких многофункциональных обивок является обивка крыши, выполняющая функции декоративного, теплоизоляционного, силового и несущего элементов, зачастую образующая модульный блок, интегрирующий в единый многофункциональный узел элементы систем освещения, вентиляции, контроля климата, приспособления для установки мультимедийных средств и др. Обивки крыши могут весьма эффективно выполнять сопутствующую полезную функцию звукопоглощения для улучшения акустического комфорта в пассажирском салоне автомобиля.

Для повышения звукопоглощающей эффективности многофункциональной обивки в ее составе может использоваться несущая перфорированная основа из пористого звукопоглощающего материала, облицованная декоративным слоем сплошного неперфорированного воздухопродуваемого материала, с звукопрозрачным адгезионным липким клеевым или термоактивным покрытием, рациональным подбором размеров и взаимного расположения отверстий перфорации, с обеспечением заданной вели-

чины образуемого воздушного зазора между поверхностью тыльной стороны обивки крыши и встречной поверхностью панели крыши. Для увеличения ее звукопоглощающей эффективности в воздушной полости, образованной между тыльной поверхностью обивки крыши и лицевой панели крыши, могут быть установлены плосколистовые звукопоглощающие панели. Схема сечения такого типа многофункциональной обивки крыши представлена на рис. 6.3.

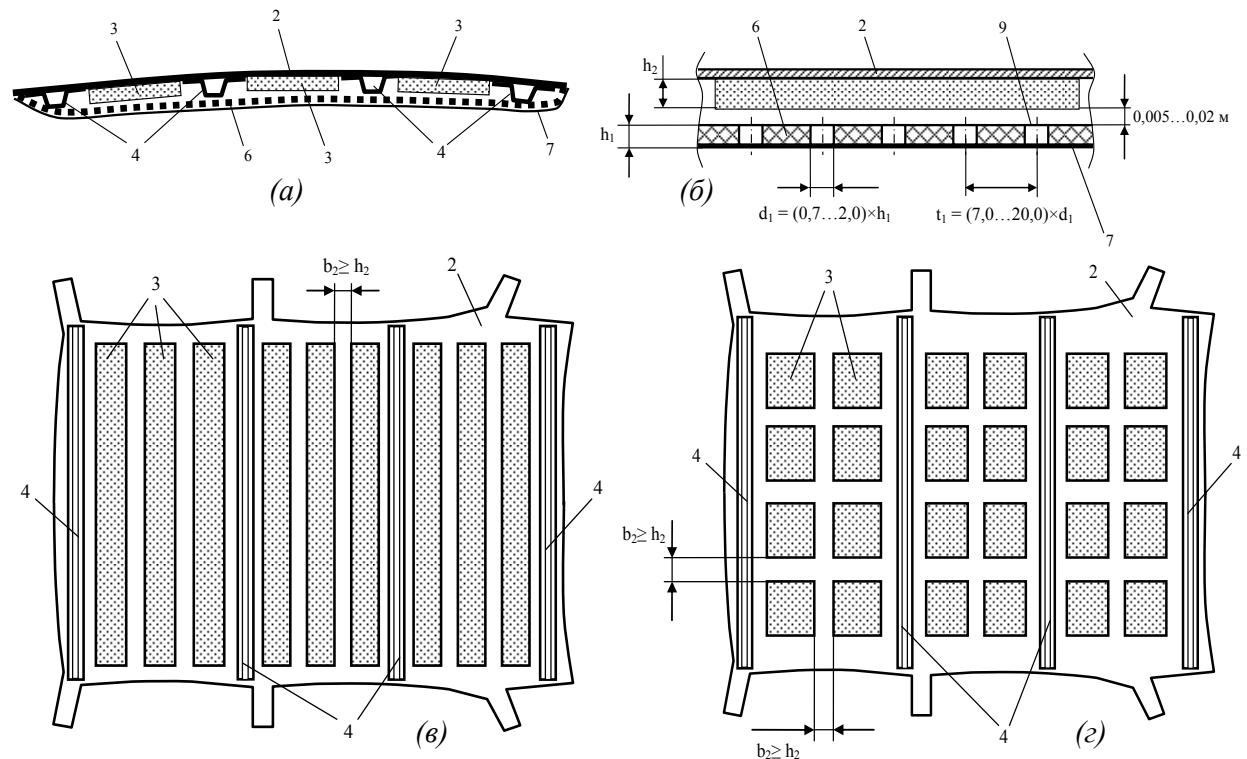


Рис. 6.3. Схемы сечения структуры многофункциональной обивки, установленной на панели крыши кузова АТС (a), увеличенного фрагмента ее сечения (б), лицевой панели крыши (обивка не установлена) с установленными малогабаритными плосколистовыми шумопоглощающими панелями (в, г): 2 – лицевая панель крыши кузова; 3 – плосколистовые звукопоглощающие панели; 4 – усиливательные элементы лицевой панели крыши; 6 – несущий пористый перфорированный звукопоглощающий слой многофункциональной обивки крыши; 7 – лицевой декоративный звукопрозрачный воздухоподуваемый слой; 9 – отверстия перфорации несущего пористого звукопоглощающего слоя многофункциональной обивки крыши

Отверстия перфорации несущей основы многофункциональной обивки крыши выполняются диаметром  $d_1 = (0,7 \dots 2,0) \times h_1$  и располагаются с межцентровым шагом  $t_1 = (7,0 \dots 20,0) \times d_1$ , коэффициент перфорации лежит в диапазоне  $k_{\text{пер}} = S_{\text{пер}} / S_{\text{осн}} = 0,003 \dots 0,015$ , величина образуемого воздушного зазора между поверхностью тыльной стороны обивки и лицевой поверхностью шумопоглощающих панелей составляет  $0,005 \dots 0,02$  м, проекции лицевых поверхностей плосколистовых шумопоглощающих панелей выполняются прямоугольной геометрической формы, суммарной площадью  $S_2 \leq 0,2S_0$ , а ширина воздушных зазоров  $b_2$ , образуемых между противолежащими торцами близлежащих плосколистовых шумопоглощающих панелей, составляет величину, не меньшую толщины  $h_2$  этих панелей (рис. 6.2). Выше использованы следующие буквенные обозначения:  $h_1$  – толщина несущей основы обив-

ки крыши,  $S_{nep}$  – суммарная площадь проекции отверстий перфорации на плоскость поверхности несущей основы,  $S_{osc}$  – площадь лицевой поверхности несущей основы,  $S_0$  – площадь тыльной поверхности лицевой панели крыши.

Использование указанных диапазонов значений (соотношений) диаметра отверстий перфорации  $d_1$ , межцентрового шага  $t_1$ , образуемого в итоге коэффициента перфорации  $k_{nep}$ , обеспечивают увеличение звукопоглощающей эффективности обивки при сохранении эффективности выполнения других неакустических функций. Установленная величина воздушного зазора между поверхностью тыльной стороны обивки и лицевой поверхностью шумопоглощающих панелей обеспечивает эффективность поглощения звуковых волн как плосколистовыми звукопоглощающими панелями, так и поверхностью тыльной стороны обивки. Выбранная площадь плосколистовых шумопоглощающих панелей позволяет достичь наибольшей звукопоглощающей эффективности этих панелей при меньшем расходе и стоимости исходного звукопоглощающего материала.

Для вариантов, когда проекции отверстий перфорации на поверхность несущей основы имеют не круглую геометрическую форму (например, форму прямоугольника, треугольника, трапеции, овала и т. д.), площадь проекции одного отверстия выбирается равной  $S_{omw} = (1,9 \dots 15,7) \times 10^{-3} \times h_1$ , а межцентровой шаг – равным  $t_1 = (3,5 \dots 1,3 \times 10^3) \times S_{omw}$ . В этих случаях данная площадь отверстий перфорации  $S_{omw}$  и межцентровой шаг  $t_1$  являются эквивалентными аналогичным показателям в случае использования круглых отверстий перфорации.

С целью обеспечения локализированного эффекта шумопонижения отверстия перфорации в структуре несущей основы обивки могут располагаться непосредственно (исключительно) над зонами размещения водителя и/или пассажиров (являющихся наиболее актуальными и требующих наибольшего звукопоглощения). Также с этой целью плосколистовые шумопоглощающие панели могут быть расположены исключительно на поверхности лицевой панели крыши над зонами размещения водителя и/или пассажиров.

Для обеспечения высокой звукопрозрачности сопряжения лицевой поверхности несущей основы с поверхностью лицевого декоративного слоя используемое с этой целью звукопрозрачное адгезионное липкое клеевое или термоактивное покрытие может быть выполнено не сплошным слоем, а тонкими сплошными или прерывистыми линиями, образующими множества правильных или неправильных геометрических фигур, или может быть выполнено перфорированным сквозными отверстиями. Также звукопрозрачное адгезионное липкое клеевое покрытие может быть выполнено тонким сплошным эластичным слоем, с низким удельным поверхностным весом  $\rho \leq 100 \text{ г/м}^2$ . Звукопрозрачное адгезионное термоактивное клеевое покрытие может быть выполнено удельным поверхностным весом  $\rho \leq 50 \text{ г/м}^2$ .

При использовании такого типа многофункциональной многослойной обивки, содержащей перфорированную структуру несущей основы, происходят следующие динамические процессы. Падающие звуковые волны, аналогично неперфорированному варианту, поглощаются структурой несущей основы обивки. Наличие перфорированных отверстий позволяет части звуковой энергии проходить в пространство над тыльной поверхностью обивки через указанные отверстия перфорации и вызывать акустический резонанс образованной замкнутой воздушной полости (лицевая

панель крыши – обивка). Возникающий акустический резонанс колебаний воздуха с высокими амплитудами в горлышках отверстий перфорации вызывает повышенные диссипативные потери колебательной энергии в зонах этих горлышек вследствие соответствующей работы на преодоление процесса трения воздуха об их пористые поверхности. Также при использовании обивки с перфорированной структурой несущей основы происходит более интенсивное поглощение звуковых волн в структуре несущей основы с тыльной стороны. Таким образом, в существенной степени интенсифицируется процесс поглощения звуковой энергии в пространстве пассажирского помещения (кабины водителя) автотранспортного средства. При перфорировании структур с заданным коэффициентом перфорации удаляется соответствующее незначительное количество пористого звукопоглощающего вещества материала обивки (не более 1,5%), что позволяет сохранить звукопоглощающие свойства структуры лицевой поверхности обивки крыши. Помимо этого перфорирование пористой структуры несущей основы вызывает чередующиеся локальные снижения жесткостных характеристик зон, непосредственно прилегающих к периметрам (свободным краям) выполненных отверстий, что увеличивает динамическую податливость и деформации упругого скелета перфорированной структуры в этих зонах. Это, соответственно, способствует возрастанию диссипативных эффектов поглощения энергии падающих звуковых волн этими чередующимися деформируемыми локальными зонами (энергия звуковых волн расходуется на совершение этой работы деформаций и, таким образом, необратимо преобразовывает ее в тепловую). Кроме того, в этом случае в процесс поглощения звуковой энергии дополнительно включаются открытые пористые торцевые зоны отверстий перфорации, образованные в структуре несущей основы по всей ее толщине. Помимо описанных выше причин увеличения звукопоглощающей эффективности обивки, данный эффект обусловлен дополнительным поглощением падающих звуковых волн вследствие возникающих вязких сопротивлений процессу трения проходящего воздушного потока в отверстиях перфорации в зависимости от массы колеблющегося воздуха в отверстиях перфорации (включая динамическое приращение присоединенных воздушных масс в зонах сопротивления), а также от массы самой обивки. Данный эффект усиливается при использовании сплошного воздухопродающего неперфорированного лицевого декоративного слоя, натянутого поперек отверстий перфораций.

Одновременно с вышеописанными динамическими процессами и реализуемыми эффектами, использование перфорированной структуры несущей основы обивки позволяет также дополнительно исключать структурный шум, излучаемый непосредственно от вибрирующей несущей основы обивки. Это обусловлено реализацией эффекта «короткого акустического замыкания» полей давлений через отверстия перфорации, возникающего между лицевой и тыльной стороной колеблющейся структуры несущей основы обивки и издающего звук, как «поршневой» двухсторонний излучатель. Передаваемое вибрационное возбуждение по жестким структурам кузова соответственно передается упругой структуре несущей основы обивки и вызывает поршневые мембранные и упругие деформации ее изгиба, сопровождаемые излучением соответствующего паразитного структурного шума. При поршневых мембранных колебаниях и формировании деформаций изгиба несущей основы обивки между противолежащими зонами лицевой и тыльной сто-

рон несущей основы обивки формируются соответствующие поля динамических давлений (повышенных и пониженных знакопеременных давлений). Благодаря наличию в структуре несущей основы отверстий перфорации происходит быстрое компенсационное выравнивание полей динамических давлений (быстрое «перетекание» воздушной среды через образованные сквозные отверстия из зон повышенного в зоны пониженного давления). Этим и обусловлен дополнительный шумопонижающий эффект по ослаблению паразитного структурного шума, излучаемого поршневыми диафрагменными и изгибными колебаниями упруго-деформируемой структуры такого типа несущей основы обивки (см. *также техническое описание патента РФ на изобретение RU 2438911*).

## **7. РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОИСТЫХ СТРУКТУР ШУМОПОНИЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МОТОРНОГО ОТСЕКА АТС**

### **7.1. Многослойная звукопоглощающая структура кожуха привода ГРМ ДВС**

Для повышения эффективности широкополосного заглушения звуковой энергии диффузного звукового поля, образующегося в подкапотном пространстве (моторном отсеке) транспортных средств, которое формируется различными шумоактивными источниками излучения звука, расположенными в подкапотном пространстве транспортного средства, для улучшения внешнего вида и уменьшения трудоемкости изготовления могут быть использованы разнообразные технические устройства уменьшения акустического излучения шумоактивных агрегатов АТС.

Технический результат достигается, в частности, за счет применения в конструкции кожуха ограждения привода ГРМ ДВС транспортного средства двухслойной пористой волокнистой звукопоглощающей структуры, содержащей соответствующим образом соединенные внешний и внутренний составные слои, имеющие заданные соотношения значений параметров их толщин и плотностей таким образом, что внешний слой имеет не менее чем в два раза меньшую толщину, но не менее чем в два раза большую плотность по отношению к аналогичным параметрам внутреннего слоя. Применение металлических или пластмассовых монтажных дистанционных втулок в зонах крепления кожуха к торцевой зоне ДВС позволяет исключить разрушающую деформацию пористой структуры (вследствие эффекта сдавливания крепежным элементом) конструктивного материала (двухслойной пористой структуры) кожуха, обеспечив тем самым его надежное долговечное крепление, с использованием, например, метизного соединения.

Базовая структура материала стенки такого типа шумоизолирующего кожуха (рис. 7.1) выполняется в виде двухслойной пористой волокнистой звукопоглощающей структуры, содержащей составные цельноформованные пористые волокнистые слои – внешний и внутренний, связанные между собой звукопрозрачным термоадгезивным слоем (термоактивным веществом).

Плотность пористой структуры внешнего слоя  $\rho_1$  не менее чем в два раза больше плотности пористой структуры внутреннего слоя  $\rho_2$ , а толщина внешнего слоя  $n_1$  не менее чем в два раза меньше толщины внутреннего слоя  $n_2$ . Выполнение стенки шумоизолирующего кожуха в виде такой двухслойной сквозной пористой звукопоглощающей структуры, с регламентированными дифференцированными механо-акустическими характеристиками слоев кожуха, позволит достигнуть скачкообразного изменения волнового сопротивления распространению звуковых волн в двухслойной пористой структуре кожуха.

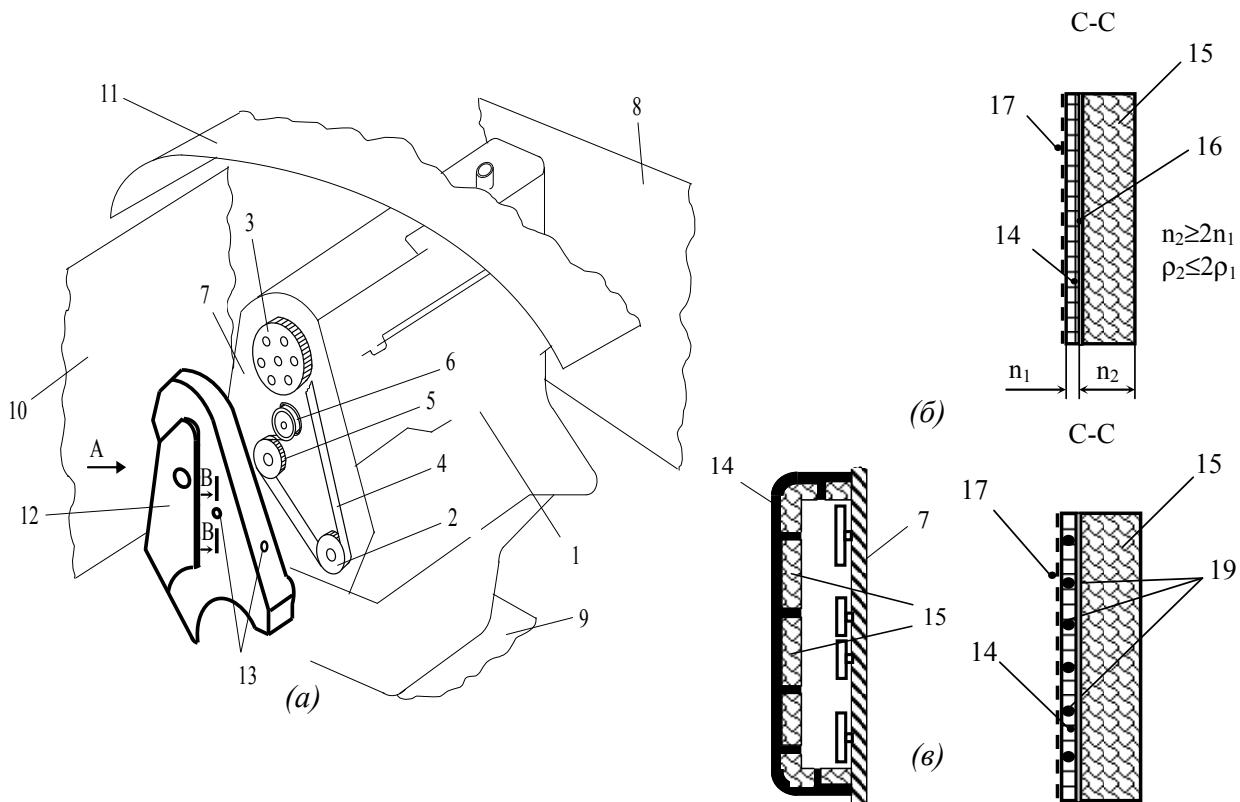


Рис. 7.1. Установленный в моторном отсеке кузова легкового автомобиля ДВС, привод ГРМ которого оборудован шумоизолирующим кожухом (а), различные варианты исполнения структуры кожуха (б, в): 1 – ДВС легкового автомобиля; 2 – ведущий шкив привода ГРМ; 3 – ведомый шкив; 4 – зубчатый ремень; 5 – шкив привода насоса системы охлаждения ДВС; 6 – натяжной ролик; 7 – торцевая зона передка ДВС; 8 – щиток передка кузова легкового автомобиля; 9 – брызговик ДВС; 10 – кузовная панель брызговика колеса; 11 – панель капота кузова; 12 – шумоизолирующий кожух привода ГРМ; 13 – закладные монтажные дистанционные втулки; 14 – внешний пористый волокнистый слой; 15 – внутренний пористый волокнистый слой; 16 – термоадгезивный звукопрозрачный слой технологической сшивки составных пористых слоев (внешнего – 14 и внутреннего – 15); 17 – защитный звукопрозрачный грязе-масло-водоотталкивающий слой; 19 – ужесточающий каркасный элемент

Такого типа конструктивное исполнение кожуха привода ГРМ обеспечит наряду с эффектом поглощения энергии звуковых волн при их прохождении через пористые структуры, дополнительный эффект звукоизоляции звукового излучения, формируемого работой привода ГРМ в замкнутом пространстве полости кожуха от пространства моторного отсека транспортного средства и открытого пространства (окружающей среды). Наружная поверхность внешнего слоя для придания ей улучшенных эксплуатационных свойств в отношении предотвращения поглощения влаги, топлива, масла, загрязнения и обеспечения более высоких эстетических качеств при сохранении звукопоглощающих свойств пористой структуры кожуха может быть облицована внешним защитным звукопрозрачным грязе-масло-водоотталкивающим слоем, например, тканевым слоем материала типа малифлиз или тонким звукопрозрачным слоем алюминизированной полиэстеровой или лавсановой пленки. В структуру кожуха могут быть интегрированы металлические или пластмассовые дистанционные втулки для монтажа кожуха посредством болтов, шпилек или другого типа крепежных элементов к торцевой зоне передка ДВС (см. также техническое описание патента РФ на изобретение RU 2425236).

## 7.2. Оболочечный объемный поглотитель звуковой энергии для моторных отсеков АТС

Техническая задача при использовании устройства оболочечного объемного поглотителя звуковой энергии в моторном отсеке АТС разрешается путем определённого усиления и расширения основных функций устройства (сообщением ему свойств многофункциональности). В данном случае подразумевается увеличение эффективности процесса звукопоглощения используемым техническим устройством за счет расширения активной (воспринимаемой падающие звуковые волны) площади его поверхности и включения большого объема пористого вещества в зашумленное подкапотное пространство (полость) моторного отсека в зону высокой концентрации звуковой энергии (расположением его вблизи доминирующего источника генерирования звукового и теплового излучения). Также в процесс звукопоглощения включаются дополнительные активные шумопоглощающие поверхностные зоны, образованные в сквозных отверстиях перфорации стенок и вентиляционных каналах. Реализуется механизм усиления поглощения звуковой энергии возникающими дифракционными краевыми эффектами, образующимися в краевых граневых зонах хаотично распределённых по объёму оболочечного поглотителя обособленных дроблённых звукопоглощающих элементов и на краевых периферийных зонах вентиляционных каналов. В рассмотренной конструкции устройства заглушения звуковой энергии одновременно обеспечивается также снижение термонагруженности критических (высокотемпературных) зон подкапотного пространства за счет направленного охлаждающего обдува термогенерирующих и термонагруженных корпусных деталей и агрегатов, осуществляемого набегающим потоком воздуха движущегося АТС через сквозные вентиляционные каналы такого типа оболочечного объемного поглотителя звуковой энергии. Происходит также благоприятный, с точки зрения безопасности, охлаждающий обдув пористой структуры обособленных дроблённых звукопоглощающих элементов.

Сущность предложенного технического решения заключается в том, что в моторном отсеке АТС, содержащем шумотермогенерирующие корпусные детали силового агрегата, узлы и системы ДВС, установлен, по крайней мере, один объемный оболочечный поглотитель звуковой энергии (рис. 7.2), выполненный в виде несущей металлической или полимерной звукопрозрачной перфорированной оболочки контейнерного типа, имеющей листовую перфорированную основу, закрепленной к силовым элементам каркаса или панелям кузова соответствующего типа монтажным адгезионным липким клеевым покрытием или механическими крепежными элементами, внутренняя полость которого заполнена обособленными дроблеными звукопоглощающими элементами произвольной геометрической формы, различных или одинаковых габаритных размеров (находящихся преимущественно в диапазоне 10...50 мм), в виде технологически переработанных методом дробления крупногабаритных шумопоглощающих деталей состава пакетов шумоизоляции транспортных средств с выработанным ресурсом (завершивших свой жизненный цикл) и/или аналогичного типа шумопоглощающих деталей, отобранных из состава пакетов шумоизоляции завершивших свой жизненный цикл различных шумоактивных энергетических установок, промышленно-технологического оборудования, шумопоглощающих строительных конструкций и т. п., и/или технологических отходов и производственного брака, возникающего при производстве пористых звукопоглощающих материалов (деталей).

Получаемые таким образом обособленные дробленые звукопоглощающие элементы впоследствии используются для их хаотичного распределения внутри полости звукопрозрачной перфорированной оболочки с образованием воздушных зазоров между их противолежащими контактирующими торцевыми поверхностями, что в существенной степени повышает эффективность процесса поглощения звуковой энергии. «Произвольная геометрическая форма» обособленных дробленых звукопоглощающих элементов подразумевает как различную, так и идентичную их геометрическую форму, которая при этом удовлетворяет компоновочно-монтажным и технологическим возможностям ее свободного помещения внутри полости оболочечного поглотителя звуковой энергии, располагаемого в подкапотном пространстве моторного отсека АТС. Обособленные дробленые звукопоглощающие элементы, получаемые теми или иными технологическими приемами производства фрагментированных отходов, преимущественно имеют правильные (параллелепипед, куб, шар, пирамида, конус и т. п.) или произвольные выпукло-вогнутые формы. Поверхности стенок внешней и/или внутренней полости оболочечного объемного поглотителя звуковой энергии облицованы тонкой, динамически податливой, газовлагонепроницаемой, звукопрозрачной пленкой толщиной 0,025...0,1 мм и поверхностной плотностью (удельной поверхностной массой) 20...70 гр/м<sup>2</sup> или применяемым термовлагостойким водоотталкивающим нетканым материалом толщиной 0,025...0,25 мм и поверхностной плотностью 20...300 гр/м<sup>2</sup>, обладающим удельным сопротивлением продуванию 20...500 Н·с/м<sup>3</sup>. Это позволяет предотвращать высыпание (выдувание частиц материала) обособленных дробленых звукопоглощающих элементов, исключать нежелательное попадание и накапливание (впитывание) в их открытую чистую вспененную или волокнистую звукопоглощающую структуру в процессе эксплуатации АТС различных жидкостей (влаги, топлива, смазочно-охлаждающих жидкостей), мелких частиц, насекомых, влаги (например – в процессе мойки АТС), исключать разрушение пористой структуры вследствие возможного замерзания попавшей в поры влаги при низких (знакопеременных) температурах эксплуатации АТС.

В качестве звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленки может использоваться полиэстеровая, алюминизированная, уретановая, поливинил-хлоридная и т. п. Звукопрозрачный слой нетканого материала может быть выполнен из тканевого материала типа «малифлиз», «филтс», стеклоткань, ткань из базальтовых волокон и т. п. Как вариант может производиться закладка во внутреннюю полость оболочечного объемного поглотителя звуковой энергии сгруппированных в отдельные блоки обособленных дробленых звукопоглощающих элементов, например, уже предварительно помещенных в отдельные герметичные модули (мешки) из соответствующего типа звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленки или нетканого звукопорозрачного термовлагостойкого водоотталкивающего материала, что может облегчать (упрощать) их последующий монтаж и/или замену.

Коэффициент перфорации стенок оболочки такого типа объемного поглотителя звуковой энергии более 0,2 выбирается исходя из конкретных целевых характеристик обеспечения степени звукопрозрачности оболочки, преимущественного структурного состава материалов обособленных дробленых звукопоглощающих элементов и их звукопоглощающих качеств. Отверстия перфорации, выполненные в оболочке объемного поглотителя – сквозные, преимущественно, круглые.

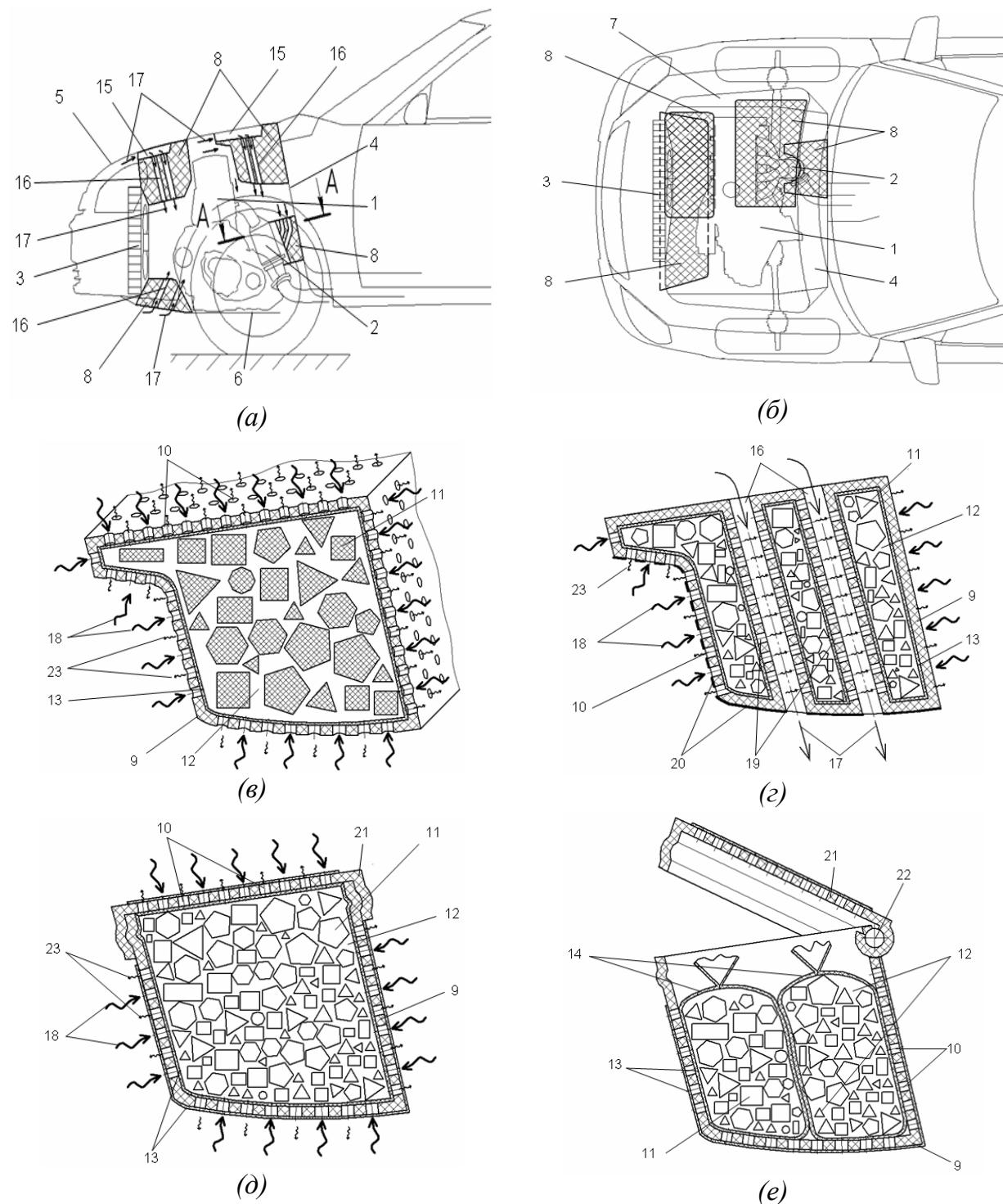


Рис. 7.2. Схема моторного отсека легкового автомобиля с установкой в его подкапотном пространстве моторного отсека оболочечных объемных поглотителей звуковой энергии (а, б); различные варианты исполнения оболочечного объемного поглотителя звуковой энергии (в, г, д, е)

На рис. 7.2 обозначено: 1 – силовой агрегат, включающий ДВС, детали системы газообмена ДВС и трансмиссионные узлы АТС; 2 – выпускной коллектор системы выпуска отработавших газов ДВС; 3 – радиатор системы охлаждения ДВС с вентилятором и кожухом в сборе (модуль системы охлаждения ДВС); 4 – щиток передка кузова; 5 – крышка капота кузова; 6 – нижний экран (брэзговик) моторного отсека

АТС; 7 – панели колесных арок кузова; 8 – оболочечный объемный поглотитель звуковой энергии; 9 – звукопрозрачная перфорированная оболочка контейнерного типа объемного поглотителя звуковой энергии; 10 – отверстия перфорации звукопрозрачной оболочки объемного поглотителя звуковой энергии; 11 – обособленные дробленые звукопоглощающие элементы; 12 – воздушные зазоры, образованные между обособленными дроблеными звукопоглощающими элементами; 13 – облицовка оболочки типа газовлагонепроницаемой звукопрозрачной пленки, слоя нетканого звукопрозрачного термовлагостойкого материала типа «малифлиз», «филтс», стеклоткань, ткань из базальтовых волокон; 14 – герметичный модуль (мешок) из звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленки или нетканого звукопорозрачного термовлагостойкого водоотталкивающего материала типа «малифлиз», «филтс», стеклоткань, ткань из базальтовых волокон; 15 – напорная воздухозаборная полость, образованная в зоне монтажа оболочечного объемного поглотителя звуковой энергии; 16 – сквозные вентиляционные воздушные каналы оболочечного объемного поглотителя звуковой энергии; 17 – направления потока набегающего воздуха движущегося АТС; 18 – падающие на поверхность оболочечного объемного поглотителя (незаглушенные) звуковые волны; 19 – отверстия перфорации вентиляционных воздушных каналов оболочечного объемного поглотителя звуковой энергии; 20 – дополнительная (локальная) внешняя теплоизоляционная жаростойкая облицовка поглотителя; 21 – съемная/открывающаяся крышка оболочечного объемного поглотителя звуковой энергии; 22 – шарнир крышки оболочечного объемного поглотителя звуковой энергии; 23 – прошедшие (заглушенные) звуковые волны, распространяемые из внутренней полости оболочечного объемного поглотителя звуковой энергии

Допускается и иная геометрическая форма отверстий, например, в виде щелевых просечек, которые могут быть расположены по поверхности стенки оболочечного объемного поглотителя звуковой энергии как равномерно (с одинаковым шагом), так и не равномерно. При неравномерном расположении отверстий перфорации (с переменным шагом) группирование отверстий с уменьшенным шагом и/или с большим габаритным размером может производиться в зонах, в которых необходимо обеспечить более высокий эффект звукопоглощения от заданного отдельного агрегата (см. также техническое описание патента РФ на изобретение RU 2442705).

### **7.3. Конструктивные исполнения узкополосных футеровок верхнего декоративного экрана ДВС**

Представленные конструктивно-технологические усовершенствования направлены на улучшение звукопоглощающих свойств футерующих (звукопоглощающих) панелей верхнего декоративного экрана двигателя внутреннего сгорания (ДВС), с соответствующим повышением шумопонижающего эффекта верхнего декоративного экрана, способствующим снижению шума транспортного средства в целом. Одновременно с этим обеспечивается снижение расхода используемого материала звукопоглощающих панелей, включая потенциальное исключение (минимизацию) образования технологических отходов в процессе изготовления декоративного экрана в сборе со звукопоглощающей футеровкой.

Технический результат в данном случае достигается за счёт рационального подбора соответствующих геометрических форм и размеров звукопоглощающих панелей

верхнего декоративного экрана, их взаимного расположения на поверхности несущей оболочки экрана, а также выбора определенного отношения габаритных размеров звукопоглощающих панелей по отношению к штатным габаритным размерам заготовок плосколистовых звукопоглощающих материалов, из которых производится технологический раскрой (вырубка) звукопоглощающих панелей. Для этого в типичной конструкции верхнего декоративного экрана, содержащей несущую оболочку из плотного полимерного материала, на внутренней поверхности которой смонтированы звукопоглощающие панели, лицевая поверхность которых футерована слоем защитной звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленки или ткани, проекции лицевых поверхностей звукопоглощающих панелей имеют прямоугольную геометрическую форму и расположены большими сторонами параллельно вертикальной плоскости, проходящей через продольную ось транспортного средства. Суммарная площадь звукопоглощающих панелей выбирается в 2...5 раз меньшей площади внутренней поверхности несущей оболочки, при этом звукопоглощающие панели выполняются одинаковой ширины, в 2...15 раз превышающей их толщину, а воздушные зазоры, образуемые между противолежащими торцами больших сторон близлежащих звукопоглощающих панелей составляют величину не меньшую, чем 0,3 их ширины. Кроме того, ширина каждой из звукопоглощающих панелей, имеет величину, кратную габаритному размеру одной из сторон штатной заготовки прямоугольной формы, из которой они изготовлены.

Для полного потенциального исключения (минимизации) образования технологических отходов при операциях вырубки (раскроя) звукопоглощающих панелей из штатной заготовки плосколистового звукопоглощающего материала заданных габаритных размеров (например, прямоугольных листов габаритных размеров  $1000 \times 1000$  мм,  $1000 \times 1200$  мм,  $1200 \times 1600$  мм,  $1000 \times 2000$  мм), снижения трудоемкости изготовления и расширения унификации применения выбирается такая длина или ширина каждой из звукопоглощающих панелей, которая обеспечивает повышенный звукопоглощающий эффект за счет соответствующего выбора рациональных геометрических форм, размеров и взаимного расположения. При этом учитываются условия безотходного раскроя заготовки штатных габаритных размеров таким образом, чтобы при ее технологическом раскрое получалось целое число звукопоглощающих панелей без образования отходов. Для реализации аналогичной цели минимизации образования технологических отходов, по крайней мере, часть звукопоглощающих панелей может быть выполнена составной, из последовательно размещенных и беззазорно состыкованных между собой в единый модуль отдельных звукопоглощающих панелей меньшей длины. При этом звукопоглощающие панели имеют длину кратную длине наименьшей по габаритам отдельной звукопоглощающей панели составного модуля. Кроме того, хотя бы одна из меньших сторон проекции лицевой поверхности, по крайней мере, двух звукопоглощающих панелей в составе модуля может быть выполнена под углом  $45^\circ$  к одной из ее боковых сторон, а также как минимум одна из меньших сторон проекции лицевой поверхности, по крайней мере, одной звукопоглощающей панели может быть выполнена по углом  $45^\circ$  к одной из больших сторон этой панели.

Параллельное расположение больших сторон звукопоглощающих панелей относительно центральной продольной плоскости АТС, с образованием соответствующих продольно расположенных воздушных зазоров между ними, способствует свободному

прохождению набегающего воздушного потока, проходящего через пространство его моторного отсека в образуемых промежутках между звукопоглощающими панелями. Это способствует более эффективному охлаждению термонагруженных корпусных деталей двигателя, в частности, выпускного коллектора ДВС и каталитического коллектора системы выпуска отработанных газов, располагаемых, как правило, вблизи смонтированного экрана.

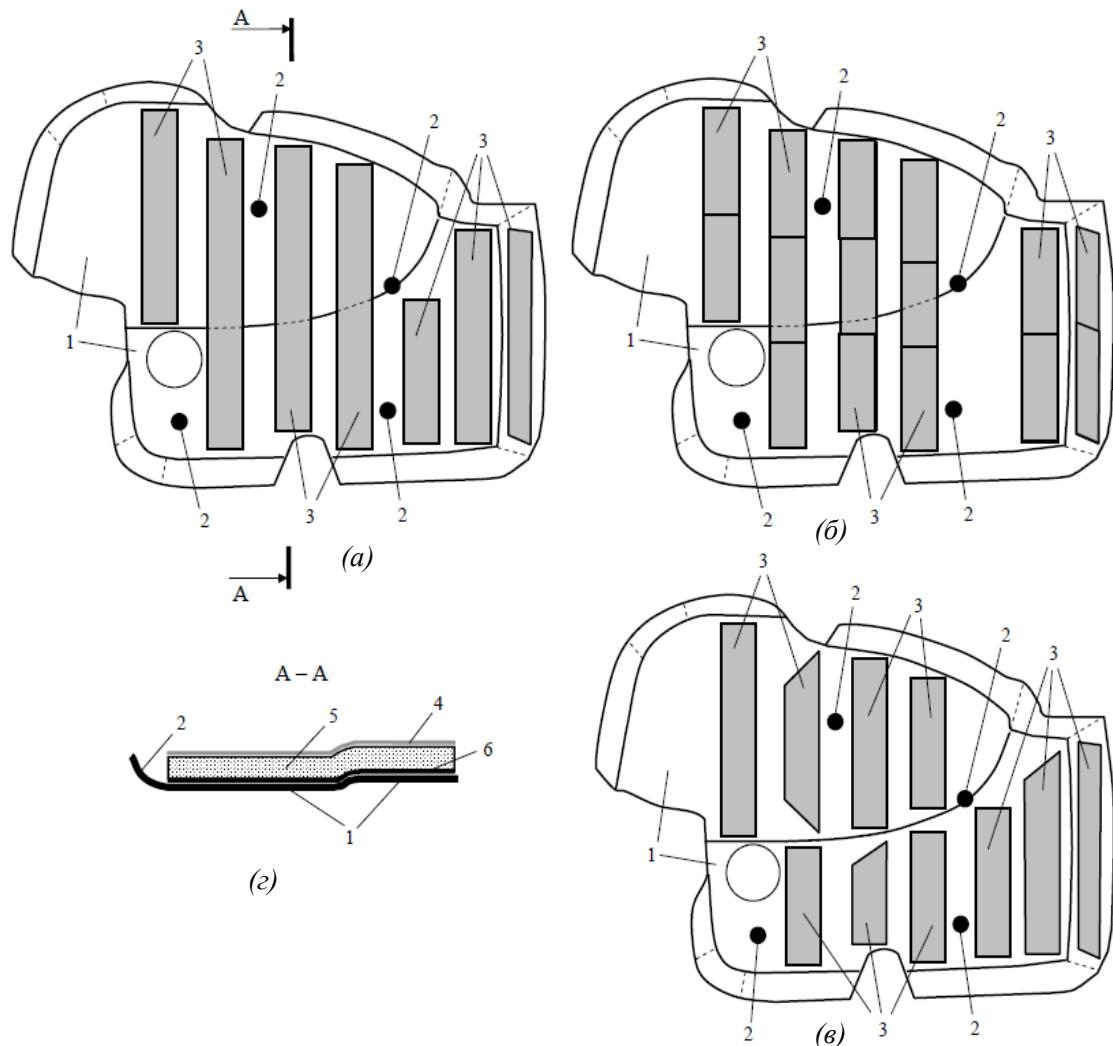


Рис. 7.3. Вид на внутреннюю поверхность (а, б, в) и сечение фрагментной зоны верхнего декоративного экрана ДВС в сборе (г) со смонтированными звукопоглощающими панелями:

1 – несущая оболочка; 2 – крепежные узлы; 3 – плосколистовые звукопоглощающие панели; 4 – слой пористого звукопоглощающего материала; 5 – слой звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленки; 6 – монтажный адгезионный слой

Использование звукопоглощающих панелей суммарной площадью лицевой поверхности  $S_n \geq S_{ob} / 2$  не позволяет в максимально достаточной степени снижать расход (стоимость) звукопоглощающего материала, с заметным повышением звукопоглощающего эффекта, в это же время использование звукопоглощающих панелей с  $S_n \leq S_{ob} / 5$  не позволяет в приемлемой степени (не менее чем на 1,0 дБ в звуковом диапазоне 1/3-октавных полос частот 500...10000 Гц контролируемого звукового спектра) снижать уровни внешнего шума автомобиля. Поэтому, как подтверждают ре-

зультаты экспериментальных исследований, наиболее рациональным с точки зрения шумопонижающего и расходного (стоимостного) эффектов является использование узкополосных звукопоглощающих панелей заданной суммарной площади лицевой поверхности, лежащей в диапазоне  $S_n = S_{ob} / 5...S_{ob} / 2$ .

Узкополосные звукопоглощающие панели предпочтительно выполняются одинаковой ширины, в 2...15 раз превышающей толщину этих панелей. Использование узкополосных звукопоглощающих панелей одинаковой ширины позволяет рационализировать технологический процесс раскроя (вырубки) и снизить затратные издержки. В этом случае, может быть использовано, в частности, более простое унифицированное технологическое оборудование (инструментальная оснастка), позволяющее вырубать панели с одинаковым шагом без переналадки. Использование звукопоглощающих панелей уменьшенной ширины, менее чем в 2 раза превышающей толщину, не рационально из-за увеличения трудоемкости монтажа на несущей оболочке кожуха большого числа узкополосных звукопоглощающих панелей, а более 15 раз – приводит к существенному снижению звукопоглощающей эффективности пакета звукопоглощающих панелей той же суммарной площади лицевой поверхности.

Воздушные зазоры, образующиеся между противолежащими торцами больших сторон близлежащих узкополосных звукопоглощающих панелей, составляют величину, не меньшую чем 0,3 их ширины. При использовании воздушного зазора меньше 0,3 их ширины происходит частичное падение звукопоглощающей эффективности вследствие снижения эффекта дополнительного дифракционного поглощения звука на краевых (граневых) периметрических зонах звукопоглощающих панелей. Также в этом случае при прочих равных условиях неоправданно увеличивается расход звукопоглощающего материала при футеровке заданной площади поверхности несущей оболочки верхнего декоративного экрана (см. *также техническое описание патента РФ на полезную модель RU*).

#### **7.4. Конструктивные исполнения узкополосных футеровок брызговиков моторного отсека АТС**

С целью улучшения звукопоглощающих свойств футерующих панелей нижнего экранного элемента, выполненного в виде брызговика моторного отсека АТС (далее – брызговика), реализующего повышенный шумопонижающий эффект и снижение шума АТС в целом, при одновременном снижении расхода звукопоглощающего материала, исключении (минимизации) образования технологических отходов в процессе изготовления брызговиков, могут быть использованы узкополосные конструктивные варианты исполнения футерующих звукопоглощающих панелей.

В данном случае технический результат достигается за счёт рационализированного подбора соответствующих геометрических форм и габаритных размеров автономных звукопоглощающих панелей брызговика и их взаимного расположения на поверхности его несущей оболочки. Для этого в штатной конструкции брызговика моторного отсека АТС, содержащей защитную несущую оболочку (далее – несущую оболочку) в виде отдельной или нескольких тонколистовых металлических или полимерных деталей, снабженных средствами для съемного крепления их к силовым элементам каркаса и панелям кузова и/или деталям ходовой части транспортного средства используются автономные узкополосные плосколистовые звукопоглощающие панели,

лицевая поверхность которых футерована защитным звукопрозрачным слоем. При этом проекции лицевых поверхностей звукопоглощающих панелей имеют прямоугольную геометрическую форму и расположены (ориентированы) своими большими сторонами параллельно вертикальной плоскости, проходящей через центральную продольную плоскость АТС. Суммарная площадь лицевой поверхности отмеченных выше автономных узкополосных плосколистовых звукопоглощающих панелей  $S_n$  (далее – узкополосных звукопоглощающих панелей) выбирается в 1,5…2,5 раза меньше площади лицевой поверхности несущей оболочки брызговика  $S_{ob}$ . При этом узкополосные звукопоглощающие панели выполняются одинаковой ширины, в 3…10 раз превышающей их толщину, а воздушные зазоры, образуемые между противолежащими торцами больших сторон близлежащих узкополосных звукопоглощающих панелей, составляют величину, не меньшую чем 0,5 их ширины. Кроме того, ширина каждой из узкополосных звукопоглощающих панелей имеет величину, кратную габаритам штатной заготовки прямоугольной формы, из которой они изготовлены.

Для потенциального исключения (минимизации) образования технологических отходов при операциях вырубки (раскряя) узкополосных звукопоглощающих панелей из штатной монолитной заготовки плосколистового звукопоглощающего материала заданных габаритных размеров (прямоугольного листа габаритных размеров, например, 1000×1000 мм, 1000×1200 мм, 1200×1600 мм, 1000×2000 мм), обеспечения снижения трудоемкости изготовления и расширения унификации применения – длина или ширина каждой из узкополосных звукопоглощающих панелей выбирается таким образом, что, обеспечивая приемлемо высокий шумопоглощающий эффект за счет соответствующего выбора геометрических форм, соотношений габаритных размеров и их взаимного расположения, они учитывают условия безотходного раскряя штатной заготовки звукопоглощающего материала, чтобы при ее технологическом раскряе получалось целое число узкополосных звукопоглощающих панелей без образования отходов. По крайней мере, часть звукопоглощающих панелей может быть выполнена составной, из последовательно размещенных и беззазорно сопряженных между собой в единый модуль отдельных звукопоглощающих панелей меньшей длины. Узкополосные звукопоглощающие панели должны иметь длину, кратную длине наименьшей по размерам отдельной узкополосной звукопоглощающей панели такого типа составного модуля. Кроме того, одна из меньших сторон проекции лицевой поверхности как минимум двух узкополосных звукопоглощающих панелей в составе образованного составного модуля должна быть выполнена под углом 45° к одной из ее боковых сторон, а также хотя бы одна из меньших сторон проекции лицевой поверхности, по крайней мере, одной узкополосной звукопоглощающей панели должна быть выполнена по углом 45° к одной из больших по габаритам сторон этой панели.

Пористые торцевые поверхности узкополосных звукопоглощающих панелей при необходимости могут быть дополнительно облицованы защитной звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленкой или тканью (нетканым полотном), содержащей монтажный липкий клеевой или термоадгезивный слой, или могут быть выполнены газовлагонепроницаемыми с использованием соответствующего герметизирующего слоя вещества типа мастики или полимерного покрытия, нанесенного, например, методом напыления или путем термического оплавления пористой поверхности торцов панелей посредством соответствующей технологической операции высокотемпературного воздействия.

На рис. 7.4 представлены различные варианты конструктивного исполнения брызговика моторного отсека в сборе с установленными узкополосными плосколистовыми звукопоглощающими панелями.

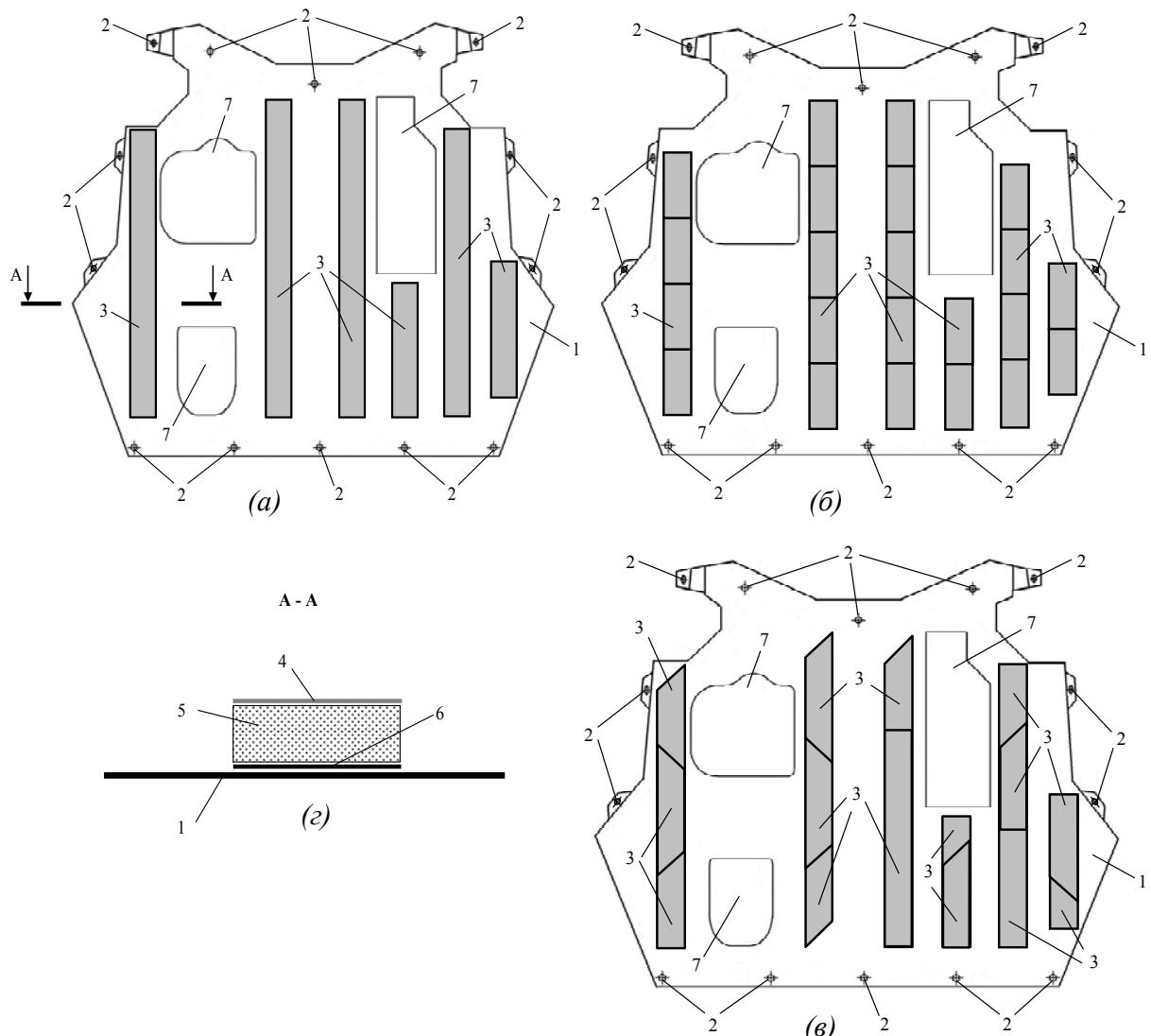


Рис. 7.4. Вид на лицевую сторону (со стороны моторного отсека (a, б, в) и сечение фрагментной зоны брызговика моторного отсека в сборе (ε), на котором смонтированы различные варианты исполнения малогабаритных звукопоглощающих панелей: 1 – несущая оболочка брызговика; 2 – крепежные отверстия; 3 – плосколистовые звукопоглощающие панели; 4 – слой звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленки; 5 – слой пористого звукопоглощающего материала; 6 – монтажный адгезионный слой; 7 – открытые вентиляционные проемы брызговика моторного отсека

Использование узкополосных звукопоглощающих панелей суммарной площадью лицевой поверхности  $S_n \geq S_{ob} / 1,5$  не позволяет в достаточной степени снижать расход (стоимость) звукопоглощающего материала, тогда как использование звукопоглощающих панелей с  $S_n \leq S_{ob} / 2,5$  не позволяет в приемлемой степени (не менее чем на 1,0 дБ в диапазоне 1/3-октавных полос частот с центрами 500...10000 Гц) снижать уровни внешнего шума автомобиля. Поэтому, как показывают результаты экспериментальных исследований, наиболее рациональным является использование суммар-

ной площади лицевой поверхности узкополосных звукопоглощающих панелей в диапазоне  $S_n = S_{об} / 2,5 \dots S_{об} / 1,5$ .

Узкополосные звукопоглощающие панели выполняются одинаковой ширины, в 3...10 раз превышающей толщину этих панелей. Использование узкополосных звукопоглощающих панелей одинаковой ширины, кратной габаритному размеру штатной заготовки звукопоглощающего материала прямоугольной формы, из которого они изготовлены, позволяет рационализировать технологический процесс раскрова (вырубки) и снизить затратные издержки изготовления. В этом случае, в частности, может быть использовано более простое унифицированное технологическое оборудование (инструментальная оснастка), позволяющее вырубать панели с одинаковым шагом без переналадки. Использование узкополосных звукопоглощающих панелей уменьшенной ширины, менее чем в 3 раза превышающей толщину, не может быть признано рациональным из-за увеличения трудоемкости монтажа на несущей оболочке брызговика, большого числа звукопоглощающих панелей, а более 10 раз – приводит уже к существенному снижению звукопоглощающей эффективности пакета узкополосных звукопоглощающих панелей той же суммарной площади лицевой поверхности.

Воздушные зазоры, образующиеся между противолежащими торцами больших сторон близлежащих узкополосных звукопоглощающих панелей, должны составлять величину, не меньшую чем 0,5 их ширины. При использовании воздушного зазора меньше 0,5 их ширины происходит частичное падение звукопоглощающей эффективности. Оно вызвано снижением эффекта дополнительного дифракционного поглощения звука на краевых (граневых) зонах узкополосных звукопоглощающих панелях. В этом случае также увеличивается расход звукопоглощающего материала при футеровке заданной площади поверхности несущей оболочки брызговика.

## **8. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ И РАЗРАБОТКИ ШУМОПОНИЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ МАШИН**

Основные технические направления повышения звукопоглощающих свойств материалов и разработки шумопонижающих элементов конструкций машин (преимущественно – АТС), осуществляемые следующими техническими приемами.

**1.** Выбор заданной толщины слоя пористой звукопоглощающей структуры в зависимости от доминирующего частотного диапазона звукового излучения, например, сообщение максимума эффекта звукопоглощения на частоте, четверть длины волны которой равна толщине слоя пористой звукопоглощающей структуры, беззазорно размещенной к звукоотражающей поверхности (кратной нечетным гармоникам указанной частоты). Регулируется, в частности, соответствующим увеличением толщины пористого слоя звукопоглощающего материала при необходимости увеличения звукопоглощения в низко- и среднечастотном диапазоне или заданным уменьшением толщины этого слоя – для увеличения звукопоглощения в высокочастотном диапазоне (см. патент РФ на полезную модель RU 23502). Аналогичным образом, при размещении пористого звукопоглощающего слоя с заданным воздушным зазором относительно жесткой звукоотражающей поверхности, четвертьволновой максимум эффекта звукопоглощения определяется суммарной толщиной пористого звукопоглощающего слоя и воздушного зазора. Соответственно, отодвигая или приближая структуру пористого звукопоглощающего слоя к звукоотражающей поверхности жесткой стенки, можно управлять частотным диапазоном эффективного звукопоглощения (см. патент РФ на изобретение RU 2438911).

**2.** Формирование заданного частотного диапазона звукового излучения, производимого узлами механизмов и системами машин, осуществляемого, в частности, переводом его в высокочастотную область, обладающую существенно более высоким резервным потенциалом поглощения звуковой энергии пористыми звукопоглощающими структурами.

**3.** Преднамеренное изменение температурного, вязкостного и плотностного состояния среды распространения звуковых волн, включая использование ее многофазных состояний, например, соответствующим дополнительным подогревом или охлаждением транспортируемого по воздуховодам (газопроводам) воздуха (газа).

**4.** Рациональные компоновочные решения в составе конструкции машины по соответствующему размещению шумопоглощающего элемента относительно доминирующего источника излучения звуковой энергии, включающие:

- 1) увеличение пространственного угла охвата источника звукового излучения более габаритным шумопоглощающим элементом в составе сборного узла цельноформованной обивки, кожуха, экранного элемента (см. патент РФ на изобретение RU 2442706);

- 2) приближение поверхности шумопоглощающего элемента (в составе сборного узла цельноформованной обивки, кожуха, экрана) к звукоизлучающей поверхности источника излучения звуковой энергии (см. патент РФ на изобретение RU 2425236);
- 3) помещение дополнительного шумопоглощающего элемента (преимущественно – объемного типа) в зону наиболее высокой концентрации звуковой энергии, характерной наиболее высокими значениями интенсивности звука (см. патент РФ на изобретение RU 2442706).

**5.** Уменьшение динамической жесткости внешнего поверхностного (облицовочного) слоя пористой структуры звукопоглощающих материалов в составе слоенных звукопоглощающих элементов, достигаемое путем:

- 1) ослабления (полного исключения) образования ужесточающего сплошного поверхностного адгезионного сопряжения между составными слоями многослойных акустических структур, осуществляемого, в частности, между звукопрозрачным защитным облицовочным слоем фольгового (пленочного), тканевого (нетканого полотна) покрытия и встречной пористой поверхностью звукопоглощающего слоя, производимого, например, введением локальных (точечных, линейных) сопрягаемых адгезионных связей или свободной укладки звукопрозрачного защитного слоя на поверхности пористого звукопоглощающего слоя без каких-либо с ним адгезионных закреплений (см. заявку на изобретение RU 2011116525 от 26.04.2011 г.);
- 2) исключения статического напряженного ужесточающего деформационного состояния поверхностной структуры звукопоглощающего материала образованием соответствующих компенсационных элементов, например, введением расчленяющих разрезов в защитном облицовочном слое многослойной акустической структуры или гофрообразным размещением защитного облицовочного слоя с его свободным или дискретным закреплением на поверхности пористого слоя (см. патент РФ на изобретение RU 2376167);
- 3) ограничения применений огневых оплавляющих технологий адгезионных поверхностных шивок сопрягаемых защитных облицовочных и пористых звукопоглощающих слоев, способствующих образованию ужесточенных уплотненных прослоек в составе многослойных структур звукопоглощающих материалов;
- 4) использования термоадгезионных технологий поверхностных шивок, сопрягаемых звукопрозрачных защитных облицовочных и пористых звукопоглощающих слоев, базирующихся на применениях дискретного поверхностного распределения термоплавких волокон или порошкообразных термоплавких частиц, с последующим образованием линейных или точечных поверхностных адгезионных связей сопрягаемых поверхностей материалов (см. патенты РФ на изобретения: RU 2442698 и RU 2442706 и заявку на изобретение RU 2011116525 от 26.04.2011 г.).

**6.** Согласование волновых сопротивлений сопрягаемых (сопредельных) сред распространения звуковых волн – как на границах раздела пористой структуры с воздушной средой, так и между чередующимися сопрягаемыми слоями многослойных структур материалов (пористых, защитных, закладных, формообразующих, армирующих и т. п.):

- 1) плавным (не скачкообразным) снижением параметров плотности, сопротивления продувания воздушным потоком, с возрастанием пористости в направлении, нормальному к внешней поверхности структуры пористого звукопоглощающего слоя;

- 2) соответствующим неплоскповерхностным формообразованием внешней свободной поверхности пористого звукопоглощающего слоя: клинообразным, конусообразным, пирамидалным (см. патенты РФ на полезные модели RU 37213 и RU 36523);
- 3) введением заданных величин воздушных зазоров между тыльной поверхностью слоя пористой структуры звукопоглощающей панели (обивки) и размещенной за ней жесткой звукоотражающей поверхностью, включая возможный вариант размещения в образованном воздушном промежутке соответствующих дополнительных звукопоглощающих панелей (см. патенты РФ на изобретения RU 2243111, RU 2438911, RU 2465390);
- 4) использованием звукопрозрачных защитных покрытий (уменьшающих реверберационный коэффициент звукопоглощения не более чем на 0,1) в составе многослойных пористых звукопоглощающих (многофункциональных с выраженной функцией звукопоглощения) структур материалов типа газовлагонепроницаемых звукопрозрачных пленок (сплошного или микроперфорированного типа), влагоотталкивающих воздухопродуваемых тканей и нетканых полотен, соответствующего типа тонкослойных напылений и т. п. (см. заявки на изобретения: RU 2011116503 от 26.04.2011 г., RU 2011116525 от 26.04.2011 г., патенты РФ на изобретения: RU 2270926, RU 2327887, RU 2351785, RU 2117792, RU 2376167, RU 2150018, RU 2328382, RU 2410556, RU 2369495, RU 2456173, RU 2465390, патенты РФ на полезные модели: RU 7391, RU 5970, RU 52809, RU 52110, RU 52109, RU 51216, RU 50308, RU 49989, RU 48224, RU 40827, RU 40793, RU 40775, RU 81925, RU 78759, RU 72453);
- 5) применением звукопрозрачных (коэффициент перфорации не менее 0,2) несущих, формообразующих, армирующих (внешних и/или закладных) конструктивных элементов (слоев) в составе многослойных звукопоглощающих (многофункциональных с выраженной звукопоглощающей функцией) структур материалов деталей узлов механизмов и систем машин – панелей, обивок, кожухов, экранов (см. патенты РФ на изобретения: RU 2351785, RU 2270926, RU 2328382, RU 2229990, RU 2410556, RU 2442705, RU 2438911, RU 2465390, заявку на изобретение RU 2011116503).

7. Введение рационального сквозного и/или тупикового типа перфорирования пористого звукопоглощающего слоя, обеспечивающего увеличение динамической податливости его скелетной структуры и уменьшающего степень рассогласования акустических сопротивлений разнородных сопредельных сред распространения звуковых волн – воздуха и пористой структуры (см. патенты РФ на изобретения RU 2327887, RU 2442698, RU 2442706).

8. Реализация краевых дифракционных механизмов поглощения энергии звуковых волн, достигаемая:

- 1) увеличенными краевыми (граневыми) периметрическими и поверхностными торцевыми периферийными зонами, сформированными заданными (лабиринтообразными) геометрическими контурами в составе монолитных звукопоглощающих панелей;
- 2) увеличенными суммарными краевыми (граневыми) и торцевыми поверхностными периферийными зонами, образуемыми расчлененными малогабаритными фрагментами плосколистовых звукопоглощающих панелей (преимущественно – узко-полосных звукопоглощающих панелей), с их последующим зазорным поверхностным распределением на несущих оболочках панелей, обивок, экранов, кожухов

(см. патенты РФ на полезные модели RU 78795, RU 81925, патент РФ на изобретение – RU 2456173);

3) образованными увеличенными суммарными краевыми граневыми и поверхностными периферическими зонами дробленых малогабаритных фрагментов пористых звукопоглощающих панелей, произведенных из пористых монолитных звукопоглощающих структур деталей шумопонижающих пакетов, подлежащих утилизационной рециклированной переработке, демонтированных из механизмов и машин, завершивших свой жизненный цикл, при их последующем заполнении и хаотичном (или упорядоченном) объемном распределении в замкнутых полостях камерных элементов деталей механизмов и систем машин (см. заявки на изобретения: RRU 2011116503 от 26.04.2011 г., RU 2011116525 от 26.04.2011 г., RU 2011138355 от 19.09.2011 г., RU 2011144299 от 01.11.2011 г., RU 20111151655 от 16.12.2011 г., RU 2012119118 от 10.05.2012 г., RU 2012132157 от 26.07.2012 г., патенты РФ на изобретения: RU 2376167, RU 2465390).

**9.** Конструктивно-технологические приемы целенаправленного поверхностного и/или объемного распределения анизотропных плотностных, жесткостных, вязкоупругих, пористостных характеристик структур материалов и конструкций деталей, направленных на повышение их звукопоглощающих свойств (см. патент РФ на изобретение RU 2243111).

**10.** Конструктивное исполнение цельноформованной структуры звукопоглощающей панели (обивки), зазорно смонтированной относительно жесткой звукоотражающей стенки, с герметичным опорным замыканием на ней периферической отбортовки панели (обивки), для реализации мембранных механизма (эффекта) поглощения звука, при увеличении степени поглощения звуковой энергии за счет дополнительного размещения пористых дробленого типа звукопоглощающих фрагментов в образованных воздушных полостях панельного мембранных звукопоглотителя, с включением в состав звукопоглощающего устройства перфорированного каркасного скелета внутреннего оребрения панельного звукопоглотителя и перфорированной пористой лицевой структуры панели, с последующей ее дополнительной облицовкой звукопрозрачными пленочным (фольговым), тканевым (нетканым полотном) покрытием (см. заявки на изобретения RU 2011116525 от 26.04.2011 г., RU 2011151655 от 16.12.2011 г.).

**11.** Образование двухслойных монолитных пористых звукопоглощающих структур типа «ультралайт» с заданными отличающимися параметрами толщины, плотности, пористости и сопротивления продуванию воздушным потоком, обеспечивающих наряду с двухсторонним механизмом (эффектом) звукопоглощения дополнительный звукоизоляционный эффект, обусловленный определенным скачкообразным изменением волновых сопротивлений пористых сред (двух пористых воздухопропускаемых слоев материалов в сопредельной поверхностной зоне их сопрягаемого скрепления) (см. патенты РФ на изобретения RU 2369495, RU 2243111, заявку на изобретение – RU 2011116525 от 26.04.2011 г.).

**12.** Формирование резонаторных звукопоглощающих полостей (расширительных, четвертьволновых, резонаторов Гельмгольца) в плотных воздухонепропускаемых структурах материалов штатных деталей узлов и систем механизмов и машин (см. патенты РФ на изобретения: RU 1081364, RU 2098289, RU 2098290, RU 2209336, RU 2062338, RU 2131524, RU 2115006, RU 2319856, RU 2069773, RU 2075612, RU 2302964, RU 2302965,

*RU 2302966, RU 2302967, патент РФ на полезную модель RU 28549, заявки на изобретения RU 2011144299 от 01.11.2011 г., RU 2012132157 от 26.07.2012 г.).*

**13.** Интегрирование в пористые воздухоподуваемые звукопоглощающие структуры монолитных панелей (обивок, экранов, кожухов) частотно-настроенных акустических резонаторов в виде:

- 1) объемных полостей типа резонаторов Гельмгольца, выполненных в том числе в виде многочисленных сообщающихся пустотелых батарей резонаторов, включая полости частично или полностью заполненные дроблеными пористыми звукопоглощающими фрагментами (см. заявки на изобретения: *RU 2011116503 от 26.04.2011 г., RU 2011116525 от 26.04.2011 г., RU 2011151655 от 16.12.2011 г., RU 2012132157 от 26.07.2012 г.*);
- 2) распределенной сети семейств трубчатых пустотелых каналов (открытых с обеих или одной из сторон), образующих соответствующие частотно-настроенные звукопоглощающие четвертьволновые поглотители резонаторного типа (**см. патент РФ на изобретение RU 2033349, заявку на изобретение RU 2012132157 от 26.07.2012 г.**).

**14.** Частичное вакуумирование звукопоглощающих материалов (преимущественно – вспененных открытоячеистых), обеспечивающее увеличение динамической податливости структуры пористого скелета с соответствующим повышением эффективности поглощения низкочастотной звуковой энергии (**см. патент РФ на изобретение RU 2081010**).

**15.** Приемлемая альтернативная замена конструкционных материалов несущих и/или декоративных деталей и узлов, не обладающих сопутствующими звукопоглощающими свойствами в составе шумоактивных механизмов и машин, на многофункциональные материалы, наделенные в том числе и выраженными звукопоглощающими свойствами (**см. патенты РФ на изобретения: RU 2410556, RU 2160398, RU 2149271, RU 2140553, RU 2425236**).

**16.** Использование высокопрочных высокодемптированных металлических пористых воздухоподуваемых (газоподуваемых) волокнистых структур материалов типа металло-резины (МР), прессованного сетчатого материала (ПСМ), обладающих повышенным внутренним трением с улучшенными комбинированными шумопонижающими свойствами (звукопоглощения и вибродемпфирования) (**см. патенты РФ на изобретения: RU 2115006, RU 2134356, RU 2126901, RU 2126899, RU 2115814, RU 2106996, RU 2102621, RU 2145385, RU 2149271, RU 2165542, RU 2170362, RU 2160398, RU 2129216, RU 2243111**).

**17.** Подключение в соответствующие звукопередающие каналы шумоактивных механизмов и машин, структурных элементов, содержащих пористые волокнистые, вспененные (микроперфорированные) рассеиватели звуковой энергии (например, полку багажника и/или панели спинки сидения кузова АТС), ослабляющие ее передачу к объемным пространственным зонам кабины водителя или пассажирского помещения, реализующих сопредельное (примыкающее) подключение к ним объемных воздушных полостей багажного отделения, бампера и моторного отсека, рассматриваемых в качестве присоединенных низкочастотных резонаторных поглотителей звуковой энергии (**см. патент РФ на полезную модель RU 40775, заявку на изобретение RU 2012132157 от 26.07.2012 г.**).

**18.** Установка пористых поглотителей звуковой энергии в коробчатые пустотелые силовые элементы АТС (пороги, стойки, лонжероны, усилители кузова), представляющие разветвленные волноводные элементы передачи звуковой энергии в кабину водителя (пассажирское помещение) АТС (см. патенты РФ на изобретения: RU 2304063, RU 2301171, RU 2106996, заявку на изобретение RU 2012119118 от 10.05.2012 г.), в полости расширительных и резонаторных камер глушителей шума, воздухоочистителей (см. патенты РФ на изобретения: RU 2268374, RU 2150018, RU 2270987, RU 2270988, RU 2270989, заявку на изобретение RU 2011144299 от 01.11.2011 г., патенты РФ на полезные модели: RU 43074, RU 43099, RU 43100), в коробчатых пустотелых элементах стендовых установок (см. патенты РФ на полезные модели: RU 23984, RU 26131, RU 23682).

**19.** Облицовка внешних открытых поверхностей стенок корпусных деталей механизмов, узлов и систем, сосредоточенных в замкнутых объемах (моторных отсеках, производственных или бытовых помещениях и т. п.), не являющихся непосредственными источниками излучения звуковой энергии (пассивных звукоотражающих элементов), слоем пористой звукопоглощающей структуры, для увеличения суммарной площади поверхности звукопоглощения, с реализацией повышенного результирующего шумопонижающего эффекта на данном техническом объекте (см. патенты РФ на изобретения: RU 2376167, RU 2217726, патенты РФ на полезные модели: RU 26130, RU 26131).

**20.** Рациональный категорийный выбор определенных ранжированных типов и марок промышленно производимых (имеющихся на рынке) звукопоглощающих материалов с известными техническими характеристиками, используемых в зависимости от конкретных целевых задач на разработку технического объекта, в котором предусмотрено (допускается) применение звукопоглощающих материалов и шумопонижающих конструкций деталей и узлов, изготовленных на их базе, применяемых с учетом действующих (перспективных) международных, национальных и отраслевых стандартов в отношении соблюдения нормативных требований экологичности, пожарной безопасности, конечной утилизационной переработки материалов и деталей, завершивших свой жизненный цикл, а также с использованием технологических отходов и брака производства при их изготовлении, принимаемых с учетом эксплуатационных воздействий знакопеременных температур, влажности, агрессивных сред и динамических нагрузок, обеспечением надежности и сохранения заданных многофункциональных свойств (защитных, декоративных, герметизирующих и пр.), учетом производственно-технологических возможностей по их использованию в составе технических объектов, заключительными экономическими затратными оценками и прогнозным анализом потенциальных стоимостных, имиджевых и конкурентных выгод, связанных с реализацией такого типа инновационных проектов.

## 9. ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКИХ РЕАЛИЗАЦИЙ АВТОРСКИХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ПОВЫШЕНИЕ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ШУМОПОНИЖАЮЩИХ ЭФФЕКТОВ ЭЛЕМЕНТАМИ КОНСТРУКЦИЙ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МАШИН

**Патент РФ на полезную модель RU 23502**  
**«Низкошумный моторный стенд для испытаний**  
**двигателей внутреннего сгорания (ДВС)»**

Авторы: Прохоров С.П.,  
 Фесина М.И., Дерябин И.В.

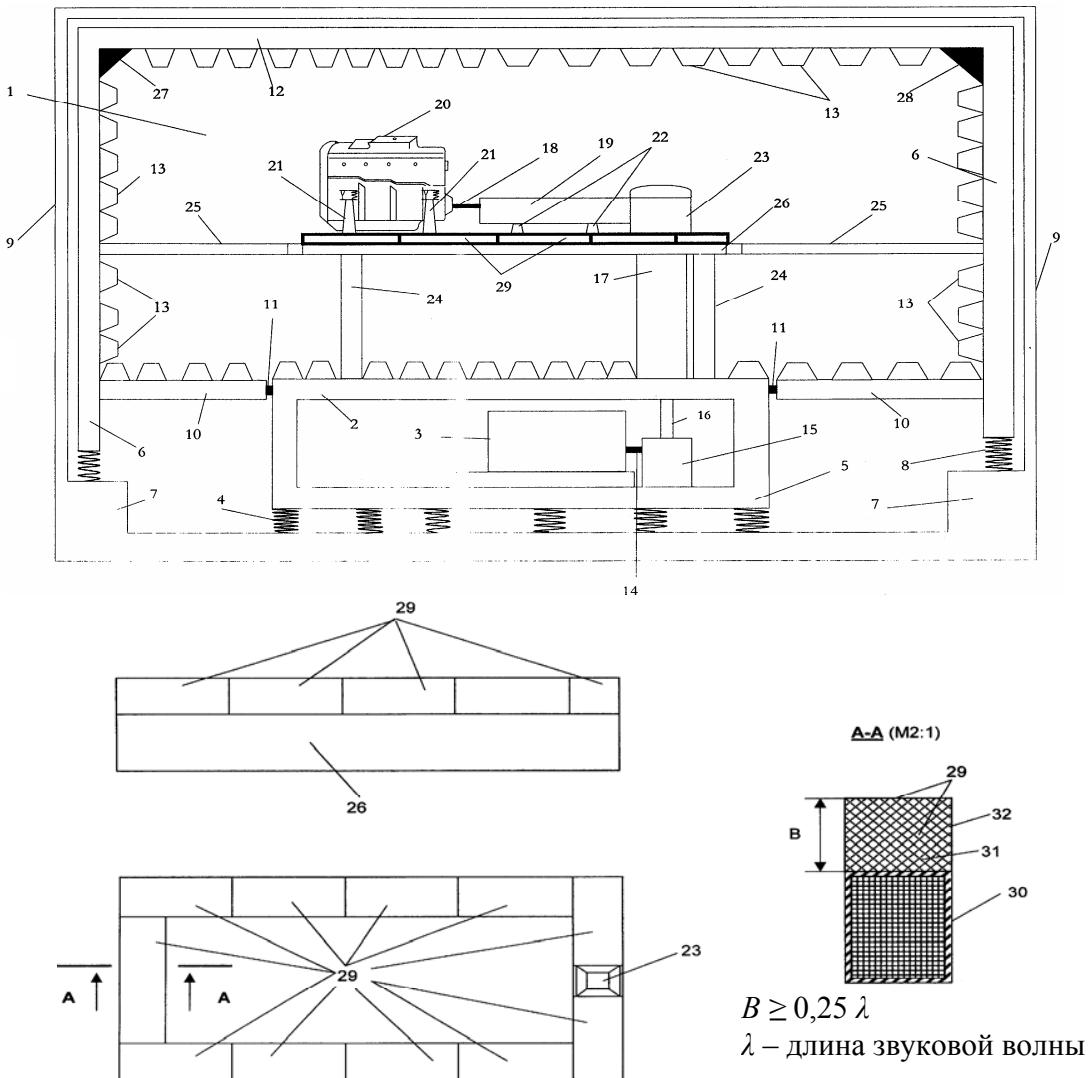


Рис. 9.1. Схема низкошумного моторного стенда для испытания ДВС (а) и схема фрагмента его несущей рамы (б): 1 – пространство безэховой акустической камеры; 2, 10 – поверхности пола безэховой акустической камеры; 3 – балансирная асинхронная машина; 4 – виброизолирующие пружины фундамента; 5 – фундамент для балансирной асинхронной машины; 6 – стены безэховой акустической камеры; 7 – периметрические зоны пола; 8 – виброизолирующие пружины камеры; 9 – внешняя бетонная оболочка; 11 – резиновые уплотнения; 12 – поверхность потолка; 13 – шумопоглощающие клинья; 14 – нижний вал; 15 – корпус нижнего опорного подшипникового узла; 16 – приводной ремень; 17, 19 – защитный кожух; 18 – верхний вал; 20 – двигатель внутреннего сгорания (ДВС); 21 – вертикальные стойки системы крепления ДВС; 22 – стойки защитного кожуха; 23 – корпус верхнего подшипникового узла; 24 – силовой каркас; 25 – звукопрозрачные решетки; 26 – несущая рама силового каркаса; 27 – приточная вентиляция; 28 – вытяжная вентиляция; 29 – легкосъемный объемный поглотитель звуковой энергии; 30 – замкнутый металлический короб; 31, 34 – слои пористого звукопоглощающего

**Патент РФ на изобретение RU 2442706**  
«Оболочечный объемный поглотитель звуковой  
энергии транспортного средства»

Авторы: Фесина М.И.,  
Малкин И.В., Горина Л.Н.

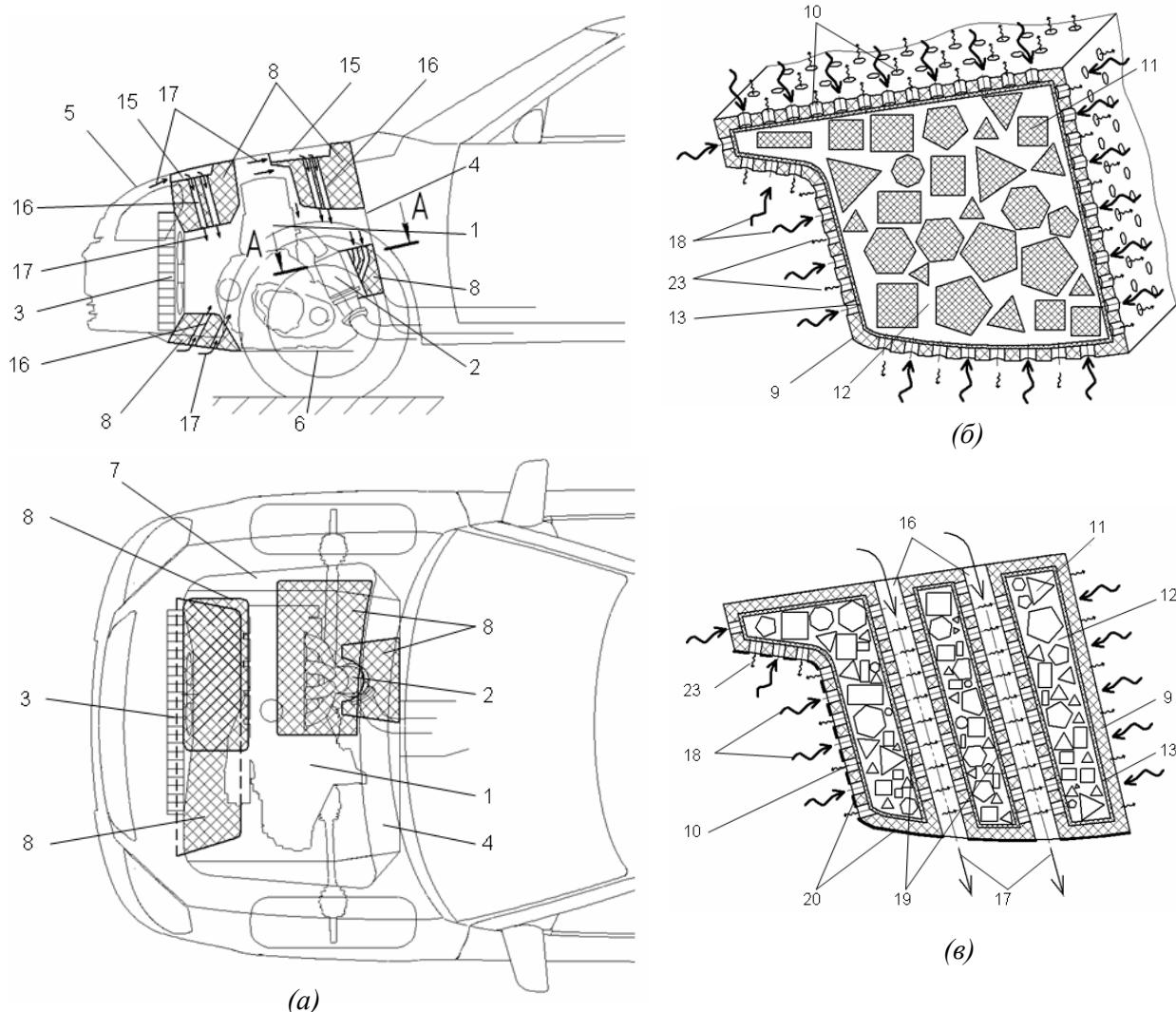


Рис. 9.2. Схема моторного отсека легкового автомобиля, с установкой в его подкапотном пространстве оболочечных объемных поглотителей звуковой энергии (а), схемы различных вари-антов исполнения оболочечного объемного поглотителя звуковой энергии (б, в):  
 1 – силовой агрегат АТС; 2 – выпускной катколлектор системы выпуска отработавших газов ДВС;  
 3 – модуль системы охлаждения ДВС; 4 – щиток передка кузова; 5 – крышка капота кузова;  
 6 – нижний экран (брэзговик) моторного отсека АТС; 7 – панели колесных арок кузова;  
 8 – оболочечный объемный поглотитель звуковой энергии; 9 – звукопрозрачная перфорированная оболочка; 10 – отверстия перфорации звукопрозрачной оболочки объемного поглотителя звуковой энергии; 11 – обособленные дробленые звукопоглощающие элементы; 12 – воздушные зазоры, образованные между обособленными дроблеными звукопоглощающими элементами; 13 – газовлагонепроницаемый звукопрозрачный слой пленки; 14 – герметичный модуль (мешок) из звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленки или нетканого материала; 15 – напорная воздухозаборная полость; 16 – сквозные вентиляционные воздушные каналы; 17 – направления потока набегающего воздуха движущегося АТС; 18 – падающие на поверхность оболочечного объемного поглотителя (незаглушенные) звуковые волны; 19 – отверстия перфорации вентиляционных воздушных каналов; 20 – внешняя теплоизоляционная жаростойкая облицовка;  
 23 – прошедшие (заглушенные) звуковые волны

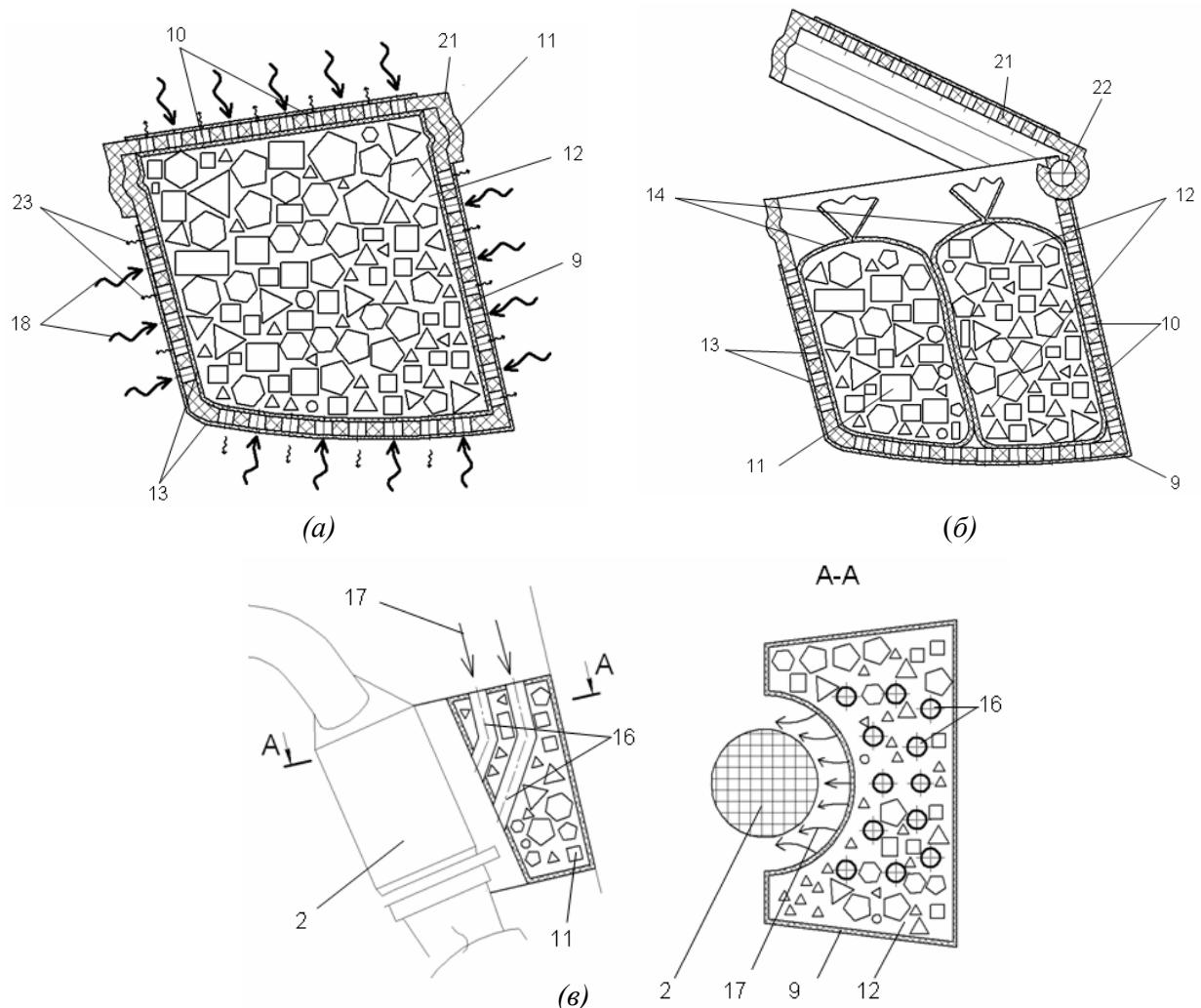
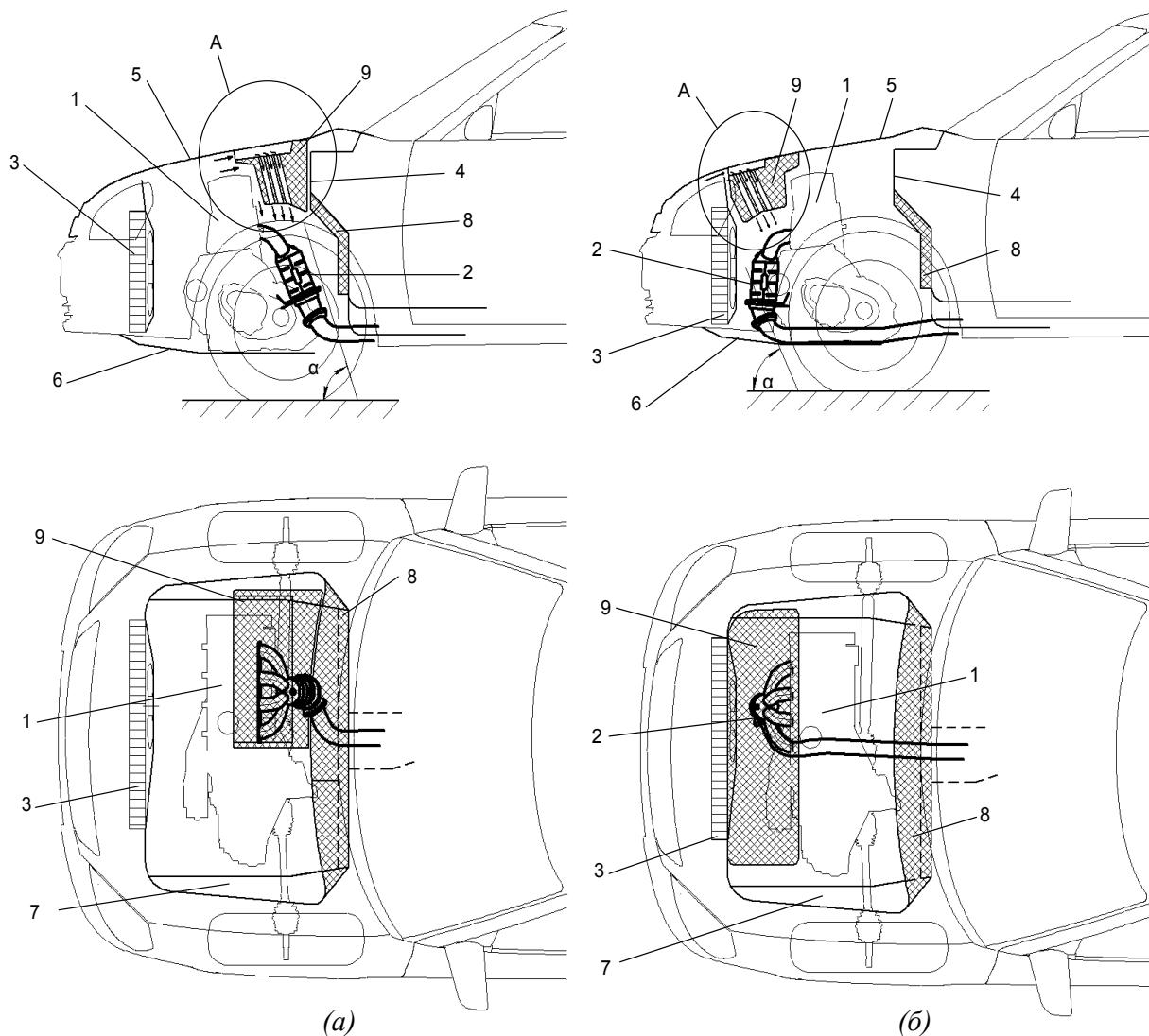


Рис. 9.3. Схемы различных вариантов исполнения оболочечного объемного поглотителя звуко-вой энергии (а, б), сечения конструктивного варианта исполнения охватывающего оболочечного объемного поглотителя звуковой энергии сложной геометрической формы, эквидистантно повторяющей пространственные геометрические контуры источника излучения шума (в): 2 – выпускной катколлектор системы выпуска отработавших газов ДВС; 9 – звукопрозрачная перфорированная оболочка; 10 – отверстия перфорации звукопрозрачной оболочки объемного поглотителя звуковой энергии; 11 – обособленные дробленые звукопоглощающие элементы; 12 – воздушные зазоры, образованные между обособленными дроблеными звукопоглощающими элементами; 13 – газовлагонепроницаемый звукопрозрачный слой пленки или нетканого материала; 14 – герметичный модуль (мешок) из звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленки или нетканого материала; 16 – сквозные вентиляционные воздушные каналы; 17 – направления потока набегающего воздуха движущегося АТС; 18 – падающие на поверхность оболочечного объемного поглотителя (незаглушенные) звуковые волны; 21 – съемная/открывающаяся крышка; 22 – шарнир крышки; 23 – прошедшие (заглушенные) звуковые волны

**Патент РФ на изобретение RU 2442706**  
«Объемный поглотитель звуковой энергии  
для моторного отсека транспортного средства»

Авторы: Фесина М.И.,  
Малкин И.В., Горина Л.Н.



**Рис. 9.4. Схема моторного отсека (подкапотного пространства) АТС со смонтированными в нем агрегатами и системами ДВС, с установленным сверху корпусом выпускного катколлектора устройством объемного поглотителя звуковой энергии:**  
1 – ДВС; 2 – выпускной катколлектор системы выпуска отработавших газов ДВС;  
3 – модуль системы охлаждения ДВС (с радиатором, вентилятором и направляющим кожухом | в сборе); 4 – щиток передка кузова; 5 – крышка капота кузова; 6 – нижний экран моторного отсека АТС; 7 – панели колесных арок кузова; 8 – штатная пластинчатого типа шумопоглощающая (шумоизолирующая) панель щитка передка (смонтированная на панели щитка передка кузова);  
9 – объемный поглотитель звуковой энергии

**Заявка РФ на изобретение RU 2442706**  
**«Объемный поглотитель звуковой**  
**энергии для моторного отсека**  
**транспортного средства» (продолжение)**

Авторы: Фесина М.И.,  
 Малкин И.В., Горина Л.Н.

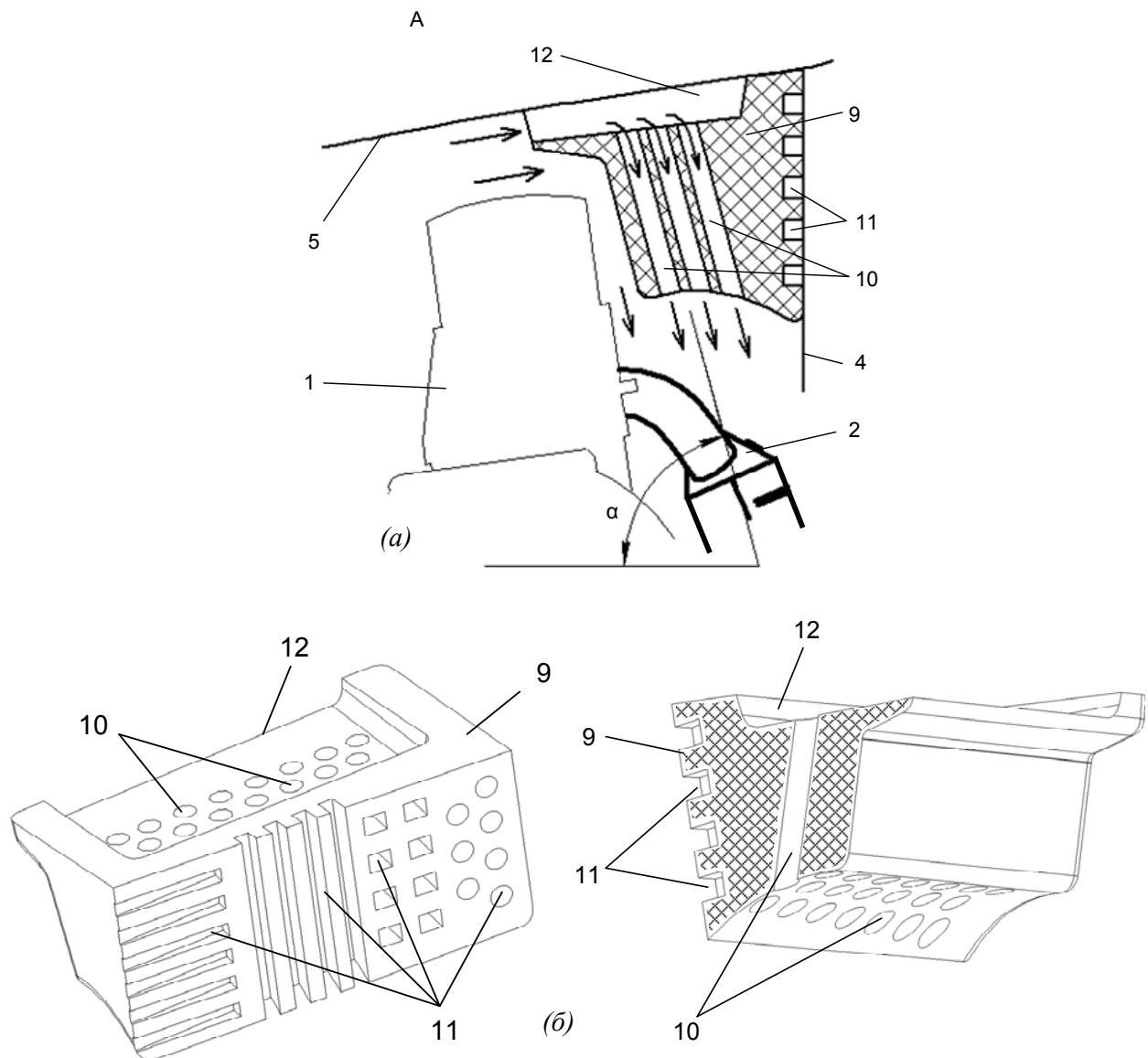


Рис. 9.5. Вариант конструкции объемного поглотителя звуковой энергии, установленного в моторном отсеке АТС (а), и трехмерное изображение конструктивного варианта исполнения объемного поглотителя звука (б):

- 1 – ДВС; 2 – выпускной катколлектор системы выпуска отработавших газов ДВС;
- 4 – щиток передка кузова; 5 – крышка капота кузова; 9 – объемный поглотитель звуковой энергии;
- 10 – сквозные вентиляционные каналы объемного поглотителя звуковой энергии;
- 11 – глухие (тупиковые) полости, образованные в пористой структуре объемного поглотителя звуковой энергии со стороны монтажной поверхности поглотителя; 12 – напорная воздухозаборная полость объемного поглотителя звуковой (шумовой) энергии

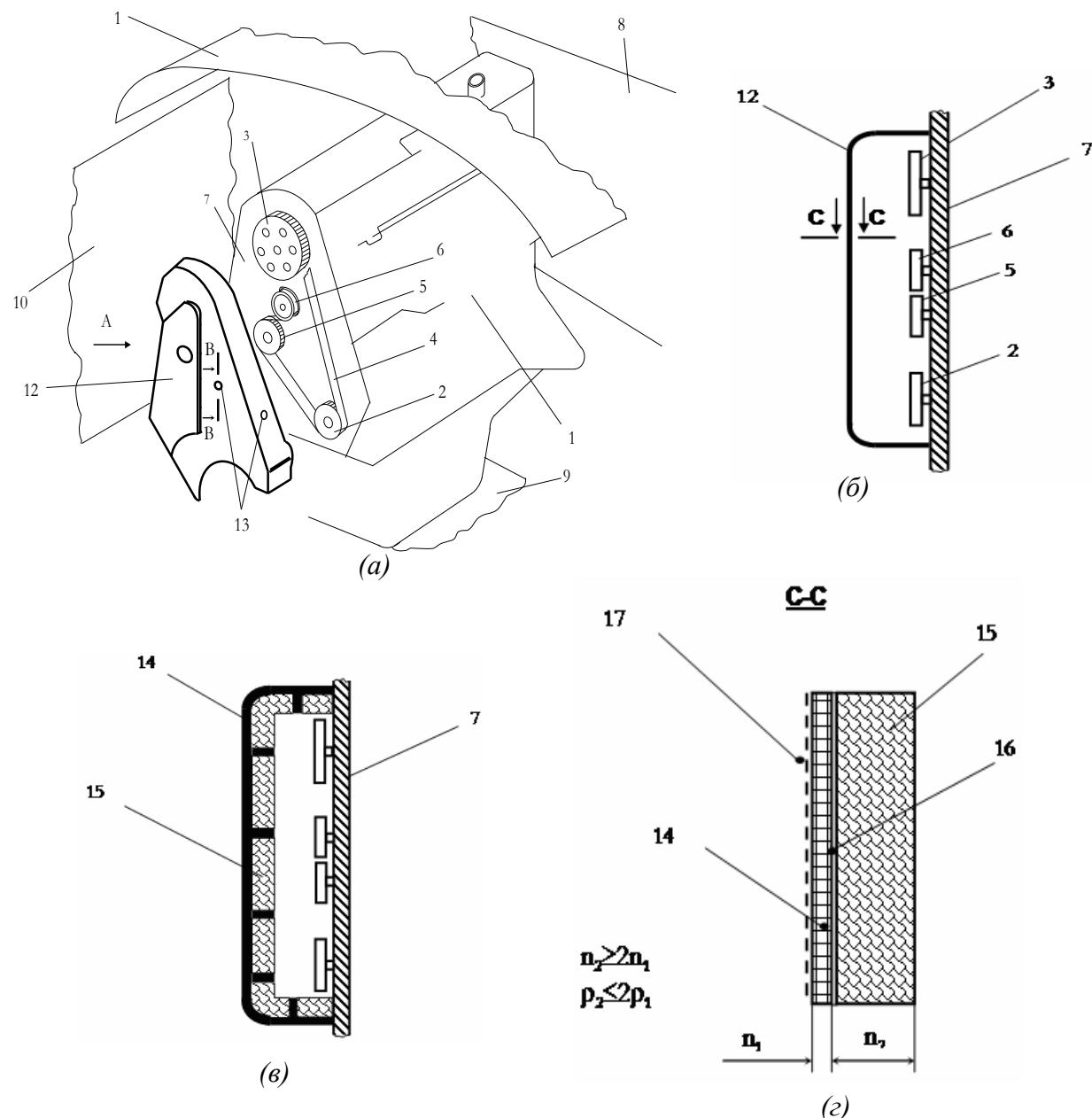
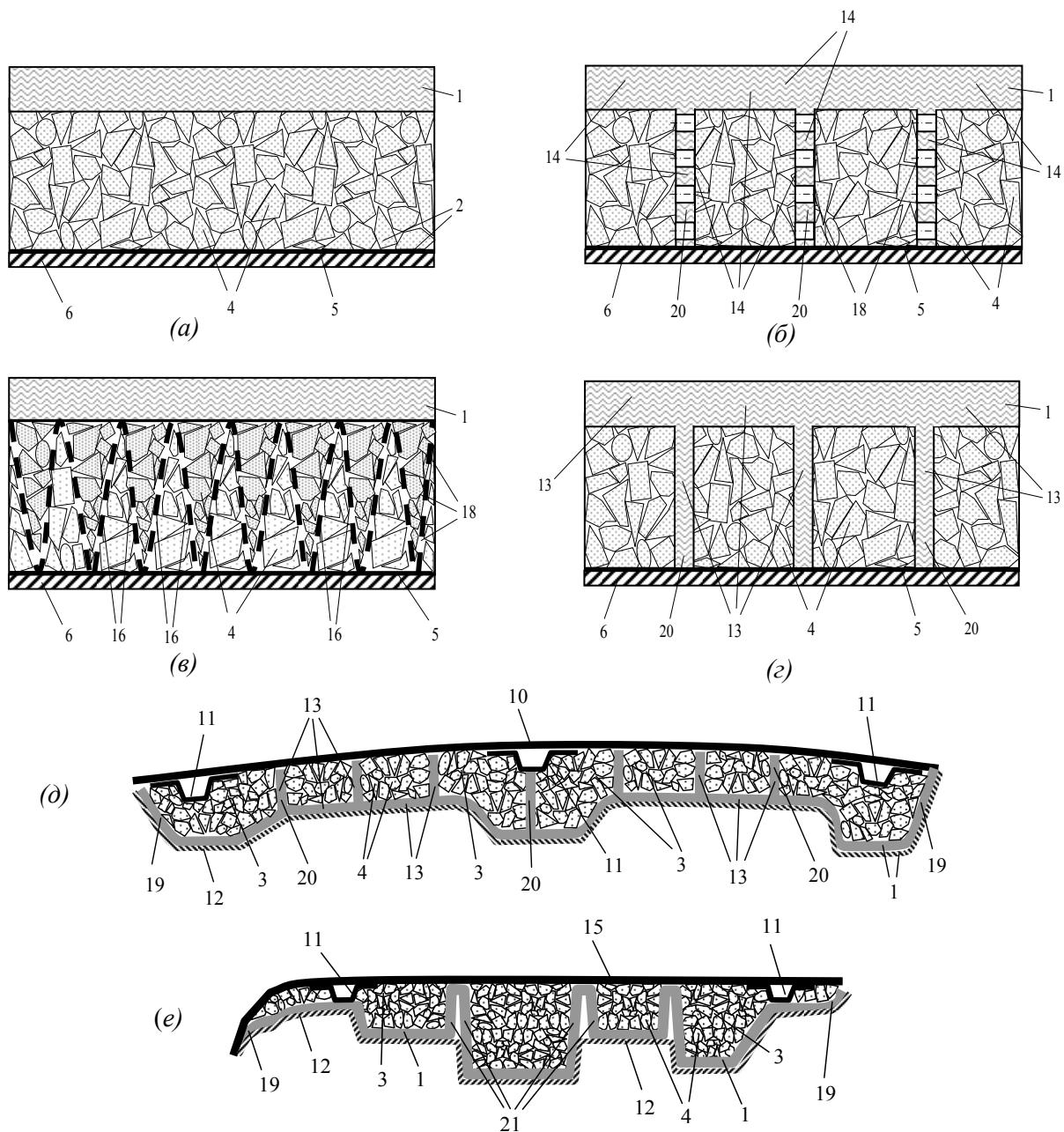


Рис. 9.6. Схема установки ДВС в моторном отсеке легкового автомобиля, привод ГРМ которого оборудован шумоизолирующим кожухом (а), вид сбоку двух вариантов шумоизолирующего кожуха привода ГРМ (б, в) и схема его структуры (г):

1 – ДВС легкового автомобиля; 2 – ведущий шкив привода ГРМ; 3 – ведомый шкив; 4 – зубчатый ремень; 5 – шкив привода насоса системы охлаждения ДВС; 6 – натяжной ролик; 7 – торцевая зона передка ДВС; 8 – щиток передка кузова легкового автомобиля; 9 – брызговик ДВС; 10 – кузовная панель брызговика колеса; 11 – панель капота кузова; 12 – шумоизолирующий кожух привода ГРМ; 13 – закладные монтажные дистанционные втулки; 14 – внешний пористый волокнистый слой; 15 – внутренний пористый волокнистый слой; 16 – термоадhesiveный звукопрозрачный слой технологической сшивки составных пористых слоев; 17 – защитный звукопрозрачный грязе-масло-водоотталкивающий слой

**Заявка РФ на изобретение RU 2011116525**  
**«Многослойная акустическая структура обивки кузова автотранспортного средства (варианты)»**

Авторы: Фесина М.И.,  
 Краснов А.В., Горина Л.Н.



**Рис. 9.7. Фрагменты сечения многослойной акустической структуры, смонтированной на несущей тонколистовой панели кузова АТС (а, б, в, г), и ее конструктивного исполнения в составе обивки крыши (д) и обивки капота (е) кузова АТС:**

- 1 – лицевая несущая часть; 2 – монтажная часть; 3 – разделенные тупиковые полости;
- 4 – обособленные дроблённые пористые звукопоглощающие фрагменты; 5 – защитный звукопрозрачный слой нетканого материала или газо-, влагонепроницаемой пленки;
- 6 – несущая тонколистовая панель кузова АТС; 10 – панель крыши кузова АТС; 11 – усилительный элемент (ребро жесткости) несущей тонколистовой панели АТС; 12 – защитно-декоративный слой звукопрозрачного материала; 13 – объемный каркасный элемент с внутренними разделительными перегородками;
- 14 – объемный каркасный элемент с внутренними разделительными перегородками перфорированной конструкции; 15 – панель капота кузова АТС; 16 – формообразующий внутренний гофрированный закладной перфорированный элемент; 19 – периферийная отбортовка;
- 20 – внутренние разделительные перегородки обивки кузова; 21 – гофрированные перегибы-складки лицевой несущей части, образующие разделенные тупиковые полости 3

**Патент РФ на изобретение RU 2376167**  
**«Шумопонижающий узел транспортного**  
**средства»**

Авторы: Паньков Л.А.,  
 Фесина М.И., Краснов А.В.

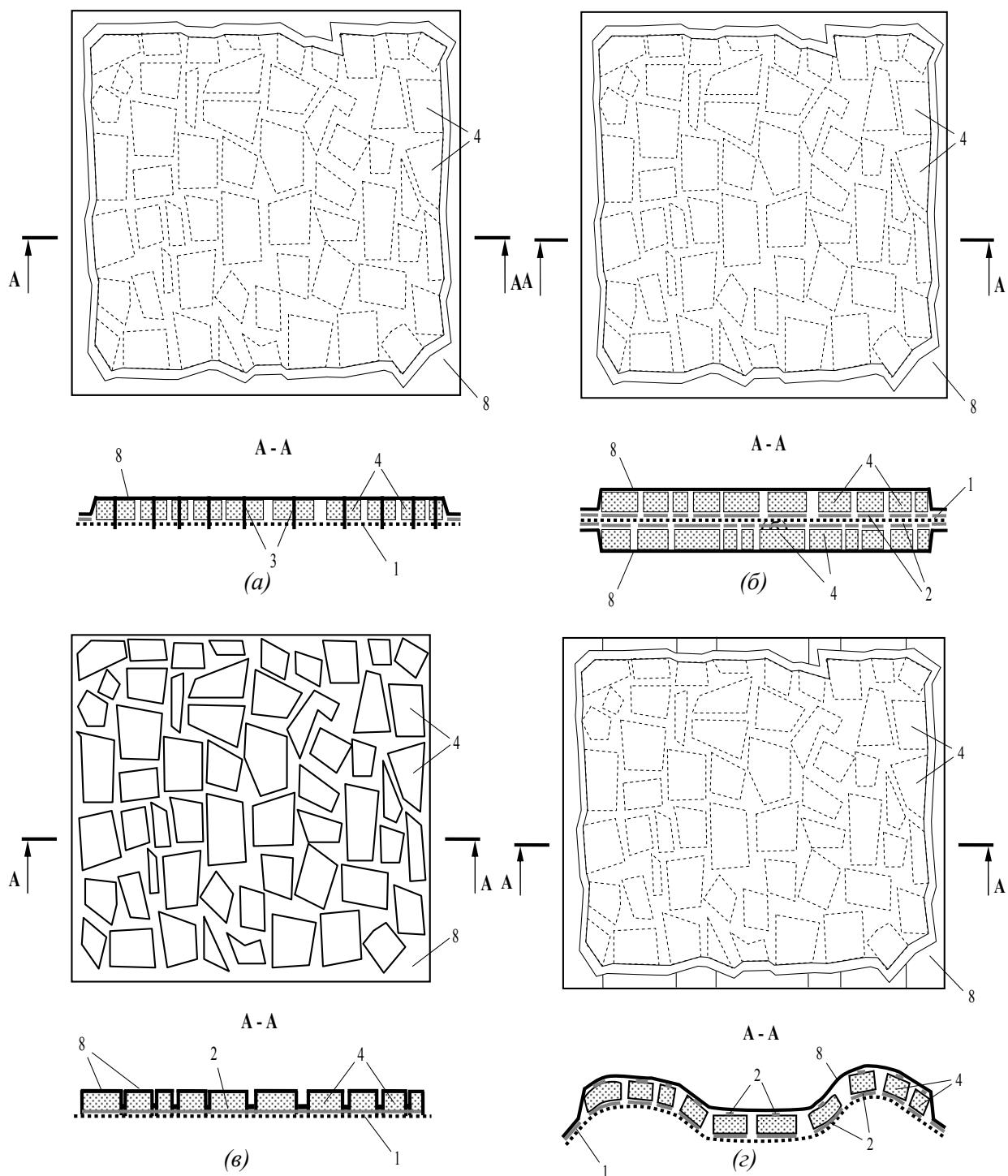


Рис. 9.8. Вид на лицевую сторону (со стороны расположения звукопоглощающих элементов) и сечение шумопонижающего узла в сборе (а, б, в, г):

1 – несущая основа; 2 – адгезионное липкое клеевое вещество; 3 – механические крепежные элементы звукопоглощающих элементов; 4 – обособленные звукопоглощающие элементы;  
 5 – шипилообразные элементы, неподвижно закрепленные на несущей основе;  
 6 – фрагмент силового элемента каркаса или панели кузова; 7 – механические крепежные элементы шумопонижающего узла; 8 – звукопрозрачная газовлагонепроницаемая пленка или слой звукопрозрачного нетканого материала

Патент РФ на изобретение RU 2376167  
 «Шумопонижающий узел транспортного  
 средства» (продолжение)

Авторы: Паньков Л.А.,  
 Фесина М.И., Краснов А.В.

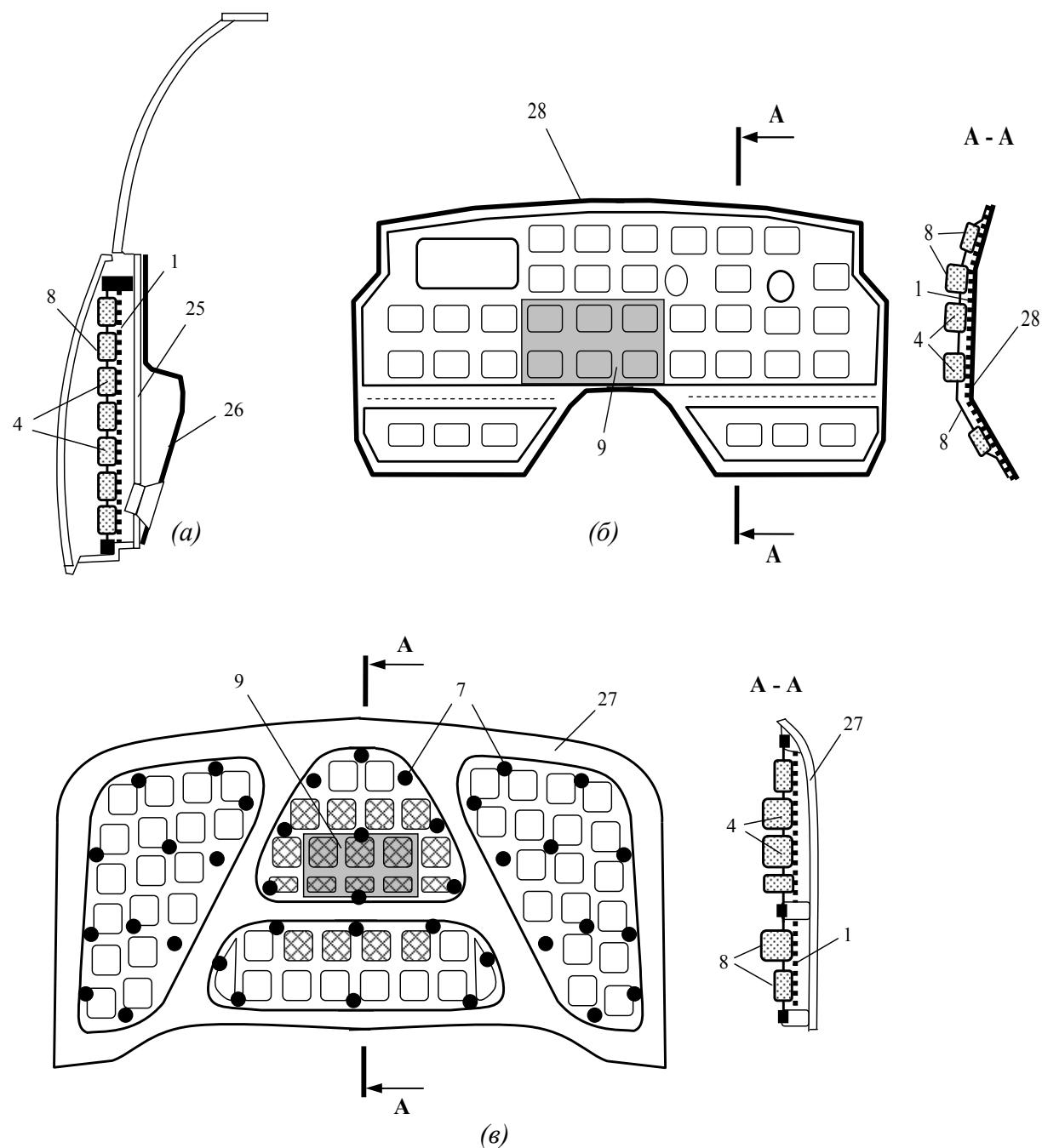


Рис. 9.9. Схема боковой двери (а), щитка передка (б) и капота (в) кузова легкового  
 автомобиля, содержащие шумопонижающий узел в своем составе:

1 – несущая основа; 2 – адгезионный (липкий) клеевой слой; 4 – слой пористого звукопоглощающего  
 материала; 7 – механические крепежные элементы шумопонижающего узла; 8 – звукопрозрачная  
 газовлагонепроницаемая пленка или слой звукопрозрачного нетканого материала; 25 – внутренняя  
 панель двери; 26 – обивка двери; 27 – панель капота; 28 – панель щитка передка

Патент РФ на изобретение RU 2442698

«Структурированное шумопоглощающее покрытие воздуховодных каналов отопительно-вентиляционной системы (ОВС) пассажирского помещения (кабины водителя) автотранспортного средства»

Авторы: Фесина М.И.,  
Краснов А.В., Горина Л.Н.,  
Назаров А.Г.

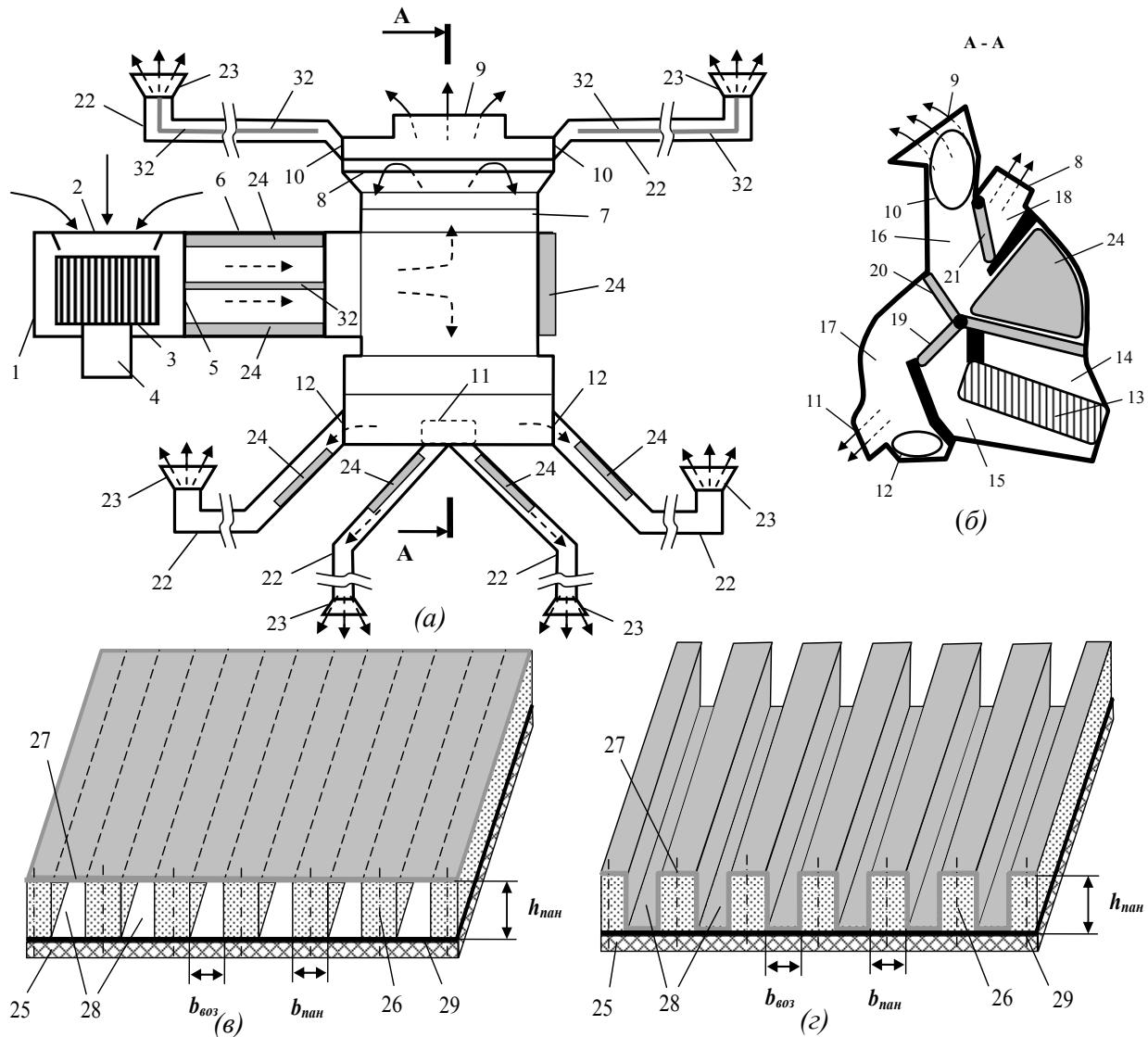


Рис. 9.10. Схема типичной конструкции ОВС (а) и поперечного сечения корпуса отопителя ОВС (б) пассажирского помещения (кабины) АТС, с установленными в полостях воздуховодных элементов, на поверхностях регулирующих заслонок и делителей воздушного потока шумопоглощающими покрытиями различного конструктивного исполнения (в, г):

1 – корпус вентилятора; 2 – входное отверстие корпуса вентилятора; 3 – крыльчатка; 4 – электродвигатель; 5 – выходное окно корпуса вентилятора; 6 – соединительный воздуховод; 7 – корпус отопителя; 8...12, 14, 15 – подводящие и отводящие каналы; 13 – теплообменник; 16...18 – камеры корпуса отопителя; 19...21 – регулирующие заслонки; 22 – воздуховоды, сообщающие корпус отопителя с пространством пассажирского помещения (кабины водителя); 23 – распределяющие устройства; 24 – шумопоглощающее покрытие; 25 – стенка воздуховодного элемента; 26 – узкополосная обособленная звукопоглощающая панель; 27 – слой звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленки или ткани; 28 – воздушный зазор, образуемый между обособленными звукопоглощающими панелями; 29 – адгезионный монтажный слой; 32 – делитель воздушного потока;  $b_{шос}$  – ширина воздушного зазора между обособленными звукопоглощающими панелями;  $b_{шан}$  – ширина обособленной звукопоглощающей панели;  $h_{шан}$  – высота обособленной звукопоглощающей панели

Патент РФ на изобретение RU 2442698

«Структурированное шумопоглощающее покрытие воздуховодных каналов отопительно-вентиляционной системы (ОВС) пассажирского помещения (кабины водителя) автотранспортного средства» (продолжение)

Авторы: Фесина М.И.,  
Краснов А.В., Горина Л.Н.,  
Назаров А.Г.

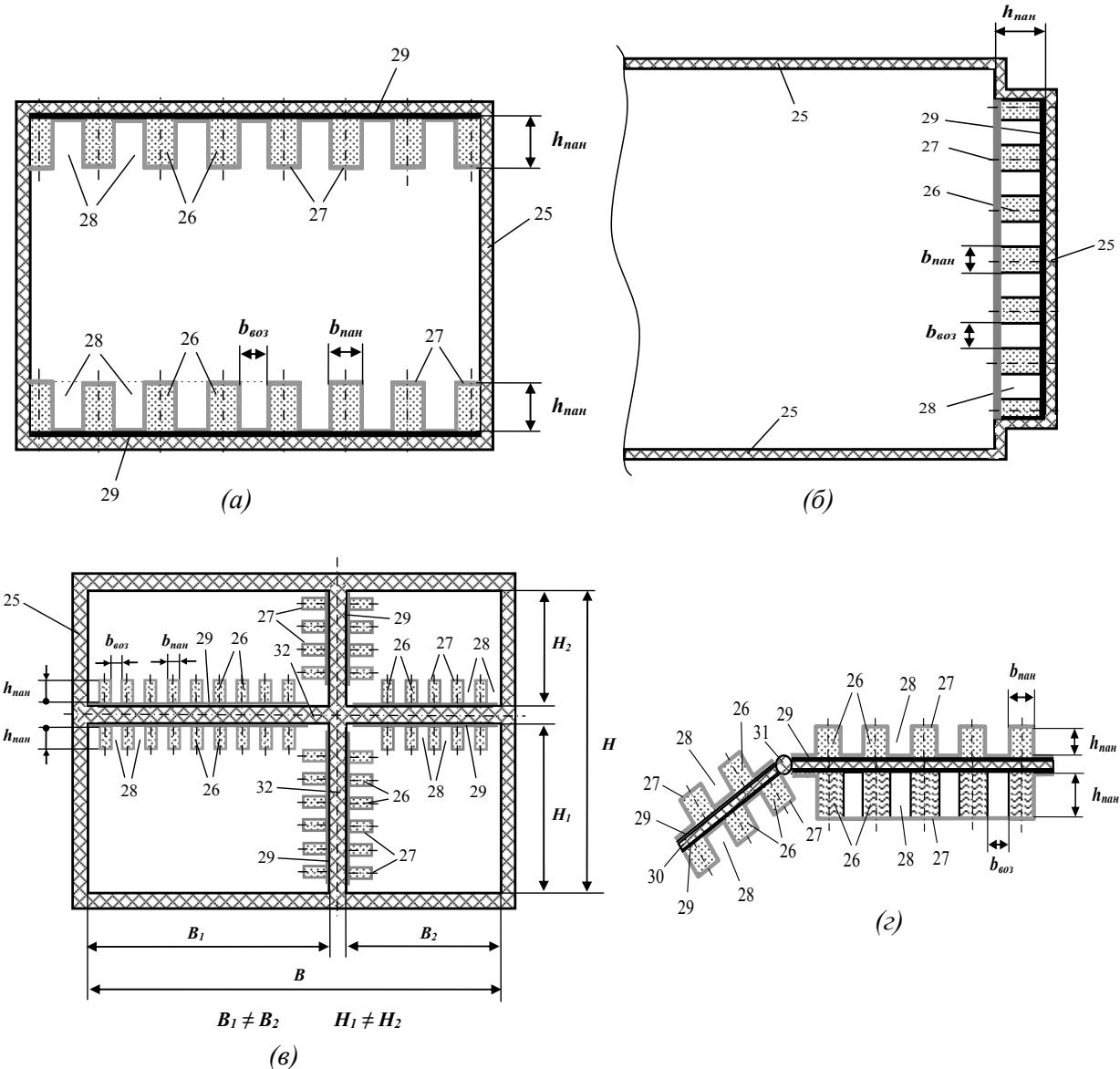


Рис. 9.11. Сечение воздуховодного элемента ОВС (а, б, в) и регулирующей заслонки (г) корпуса отопителя, с установленными на их поверхностях шумопоглощающими покрытиями:

25 – стенка воздуховодного элемента; 26 – узкополосная обособленная звукопоглощающая панель; 27 – слой звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленки или ткани; 28 – воздушный зазор, образуемый между обособленными звукопоглощающими панелями; 29 – адгезионный монтажный слой; 31 – ось вращения регулирующей заслонки; 32 – делитель воздушного потока;  $b_{\text{шов}}$  – ширина воздушного зазора между обособленными звукопоглощающими панелями;  $h_{\text{пан}}$  – высота обособленной звукопоглощающей панели;  $H$  – высота полости воздуховодного элемента ОВС (без делителя потока);  $H_1$ ,  $H_2$  – высота расчлененных полостей воздуховодного элемента делителем воздушного потока;  $B$  – ширина воздуховодного элемента;  $B_1$ ,  $B_2$  – ширина расчлененных полостей воздуховодного элемента делителем воздушного потока

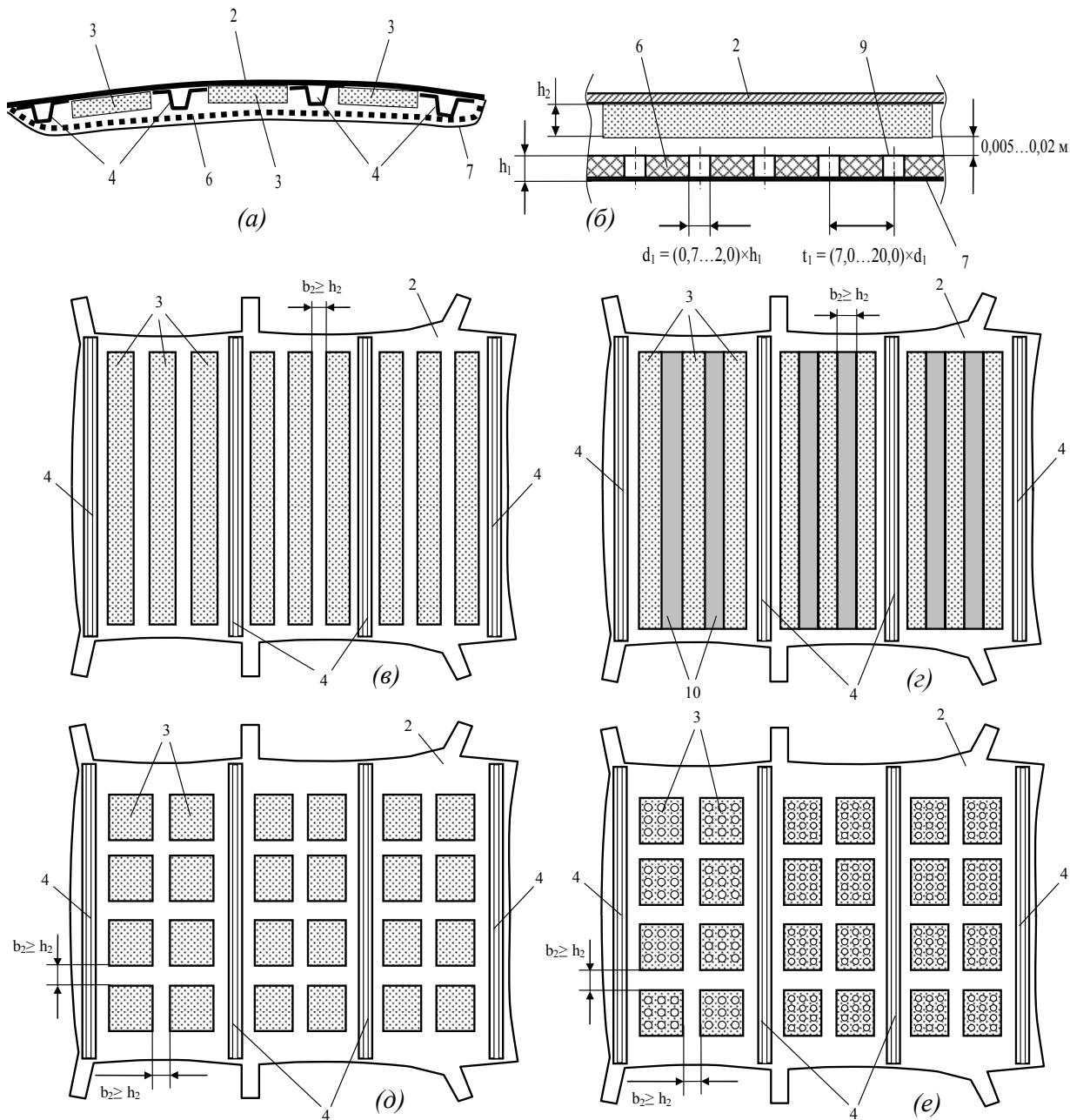


Рис. 9.12. Сечение обивки крыши в сборе (а) и ее структуры (б), установленной на панели крыши кузова, а также схемы лицевой панели крыши (обивка не установлена) с установленными шумовибродемпфирующими покрытиями (в, г, д, е):

1 – несущий кузов легкового автомобиля; 2 – лицевая панель крыши кузова; 3 – плосколистовые шумопоглощающие панели; 4 – усилители панели крыши; 6 – несущая перфорированная основа обивки; 7 – лицевой декоративный слой обивки; 9 – отверстия перфорации несущей основы обивки; 10 – плосколистовые вибродемпфирующие прокладки;  $h_1$  – толщина несущей основы обивки;  $h_2$  – толщина плосколистовой шумопоглощающей панели;  $t_1$  – межцентровой шаг отверстий перфорации несущей основы;  $t_2$  – межцентровой шаг отверстий перфорации плосколистовой шумопоглощающей панели;  $d_1$  – диаметр отверстий несущей основы обивки;  $d_2$  – диаметр отверстий перфорации плосколистовой шумопоглощающей панели;  $b_2$  – величина воздушного промежутка между плосколистовыми шумопоглощающими панелями

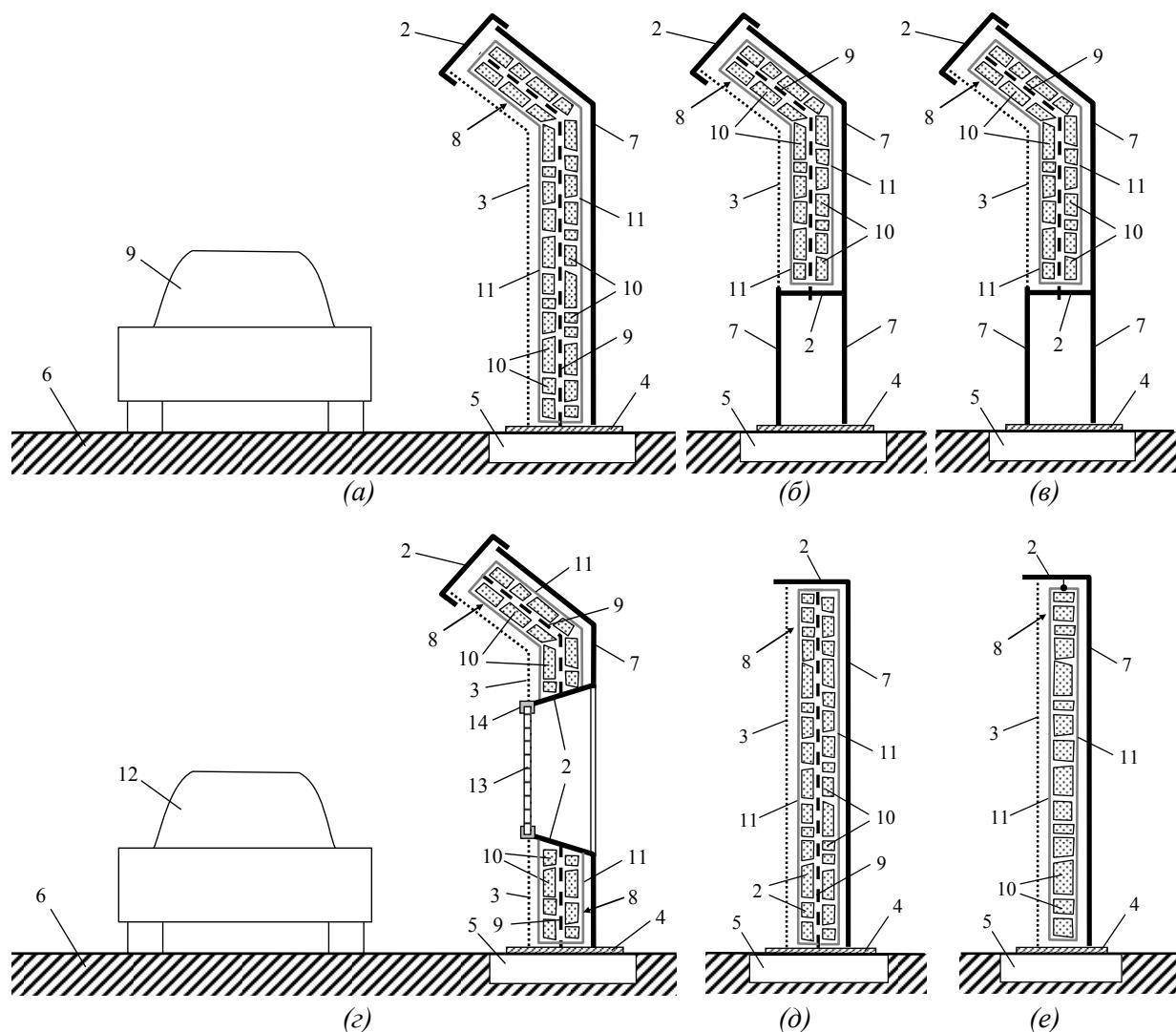


Рис. 9.13. Схемы различных вариантов поперечных сечений шумопонижающего экрана (а–е), установленного вблизи шумоактивного объекта:

1 – поперечные стойки; 2 – продольные профили; 3 – лицевая перфорированная панель; 4 – несущее основание; 5 – фундамент; 6 – дорожное покрытие; 7 – тыльная звукоотражающая панель; 8 – шумопоглощающий элемент; 9 – несущая перфорированная основа; 10 – обособленные звукопоглощающие панели; 11 – облицовочный звукопрозрачный газовлагонепроницаемый пленочный (тканевый) слой; 12 – источник шумового излучения (например, автотранспортное средство); 13 – светопрозрачная панель; 14 – монтажная рама

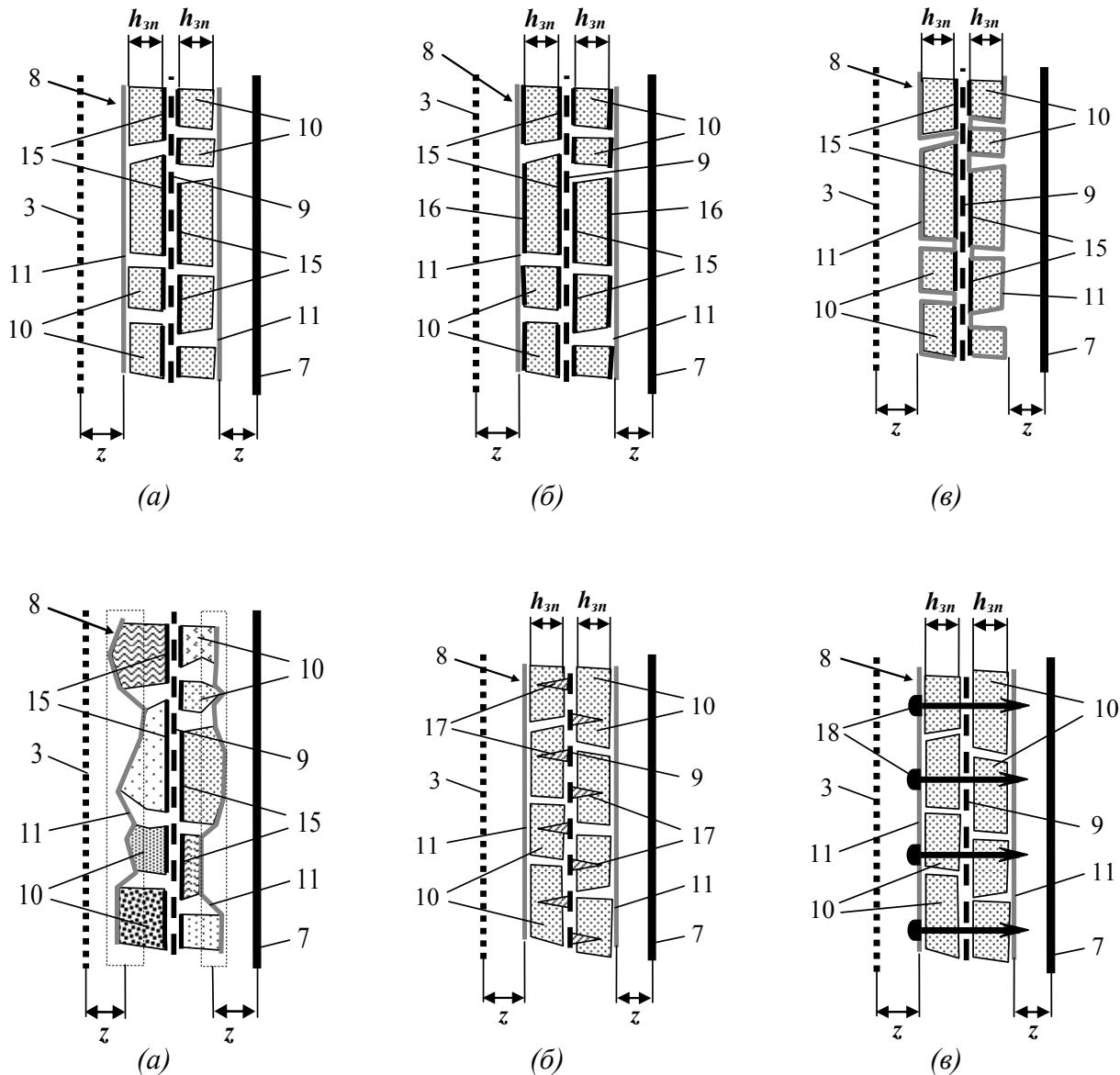


Рис. 9.14. Схемы различных вариантов поперечных сечений шумопонижающего экрана (а–е), установленного вблизи шумоактивного объекта:

3 – лицевая перфорированная панель; 7 – тыльная звукоотражающая панель; 8 – шумопоглощающий элемент; 9 – несущая перфорированная основа; 10 – обособленные звукопоглощающие панели; 11 – облицовочный звукопрозрачный газовлагонепроницаемый пленочный (тканевый) слой; 15 – монтажный адгезионный слой; 16 – промежуточный адгезионный слой; 17 – шпилеобразные элементы, неподвижно закрепленные на несущей перфорированной основе; 18 – съемные механические крепежные элементы;  $z$  – ширина воздушного зазора между поверхностью шумопоглощающего элемента и лицевой перфорированной или тыльной звукоотражающей панелями;  $h_{3n}$  – толщина обособленных звукопоглощающих панелей

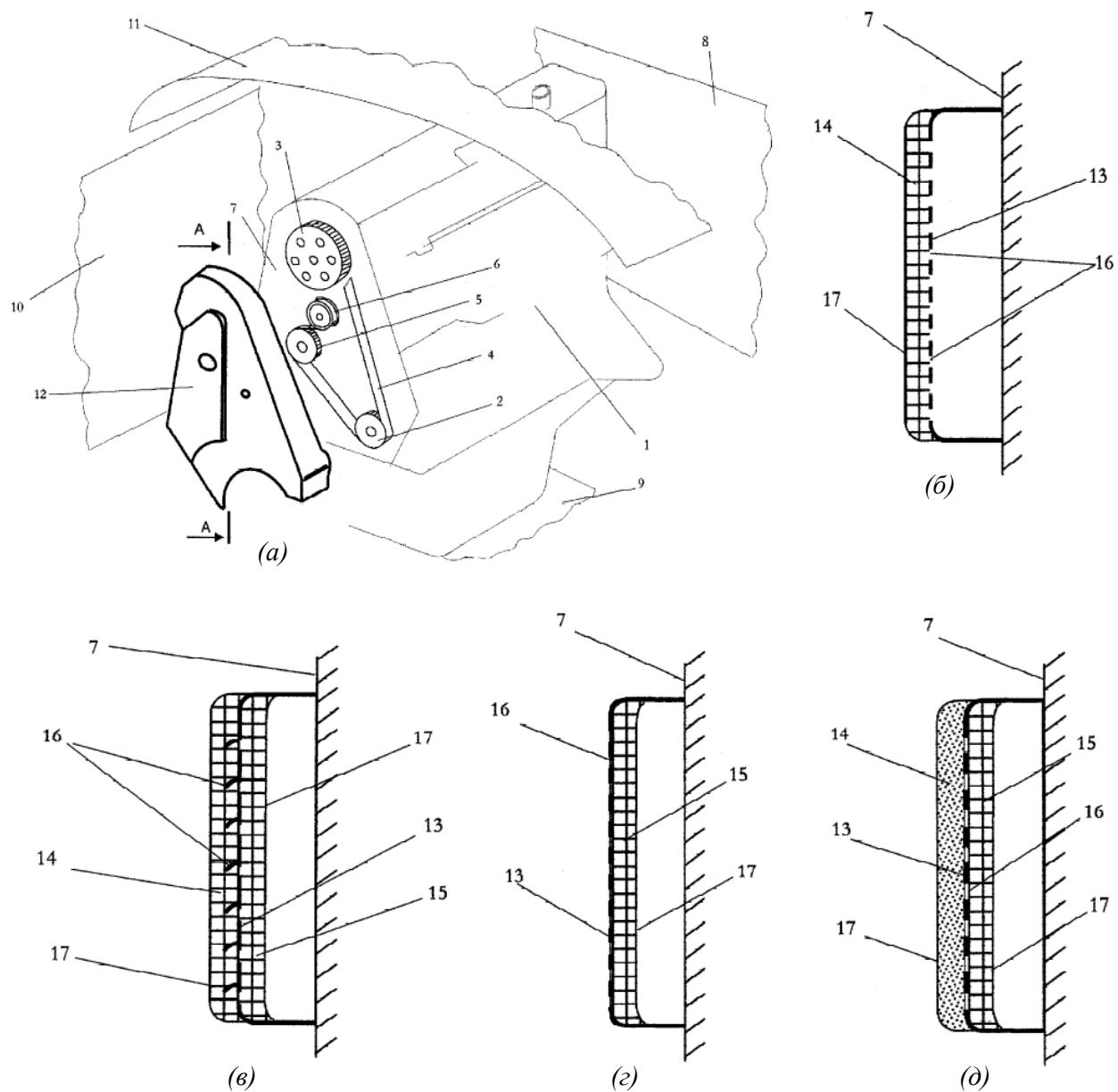


Рис. 9.15. Схема установки ДВС в моторном отсеке легкового автомобиля, привод ГРМ которого оборудован шумоизолирующим кожухом (а), и различные варианты его структурного исполнения (б, в, г, д):

1 – ДВС легкового автомобиля; 2 – ведущий шкив привода ГРМ; 3 – ведомый шкив; 4 – зубчатый ремень; 5 – шкив привода насоса системы охлаждения ДВС; 6 – натяжной ролик; 7 – торцевая зона передка ДВС; 8 – щиток передка кузова легкового автомобиля; 9 – брызговик ДВС; 10 – панель брызговика колеса; 11 – панель капота кузова; 12 – шумоизолирующий кожух привода ГРМ; 13 – несущий каркас кожуха; 14, 15 – звукопоглощающие панели; 16 – отверстия перфорации несущего каркаса 13; 17 – защитная звукопрозрачная пленка

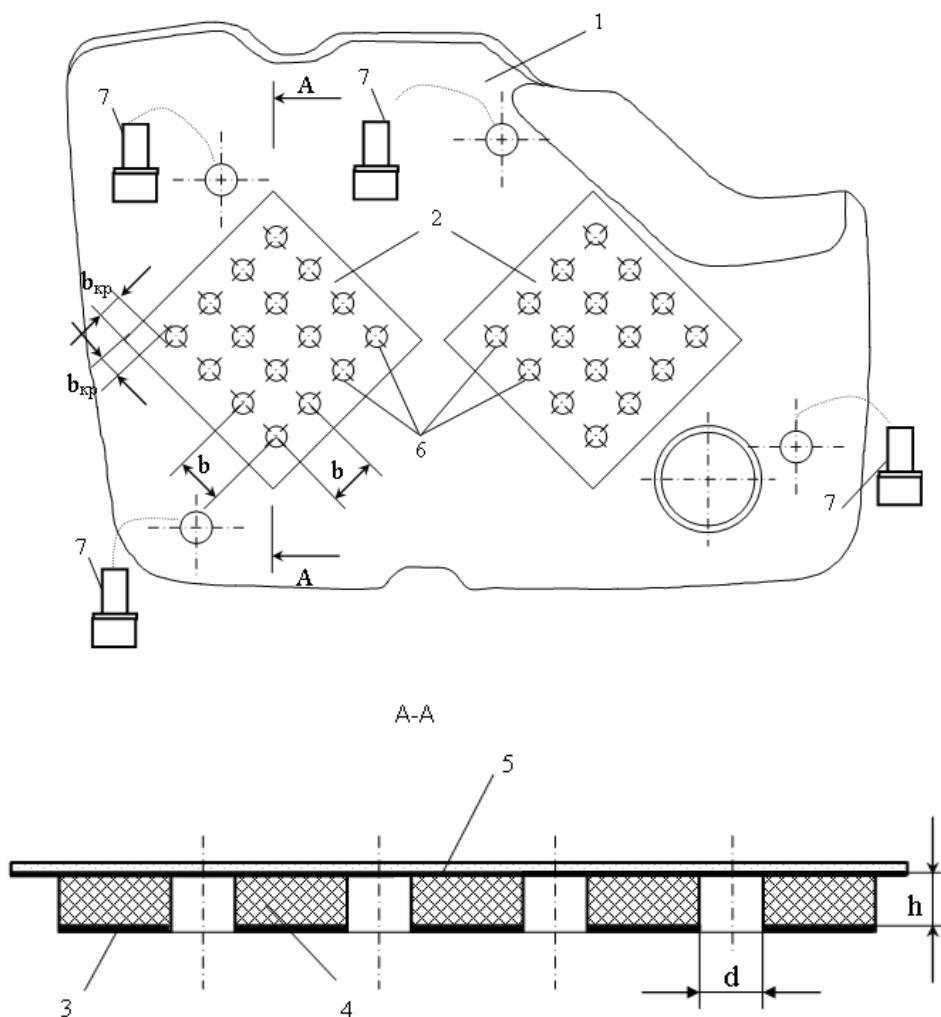


Рис. 9.16. Схема верхнего декоративного кожуха ДВС со смонтированными на тыльной поверхности плосколистовыми звукопоглощающими панелями с перфорированной структурой пористого слоя:

1 – несущая декоративная оболочка из плотного полимерного материала; 2 – звукопоглощающая футеровка (две плосколистовые панели); 3 – перфорированный слой внешней лицевой защитной звукопрозрачной пленки; 4 – перфорированный пористый звукопоглощающий слой футеровки; 5 – липкий клеевой слой футеровки; 6 – отверстия перфорации; 7 – крепежные элементы кожуха интегрированные с виброизоляторами;  $h$  – толщина плосколистовой звукопоглощающей панели;  $d$  – диаметр отверстий перфорации пористого слоя;  $b$  – межцентровой шаг отверстий перфорации пористого слоя;  $b_{kp}$  – расстояние от близлежащего края отверстия перфорации до свободных краев плосколистовой панели звукопоглощающей футеровки

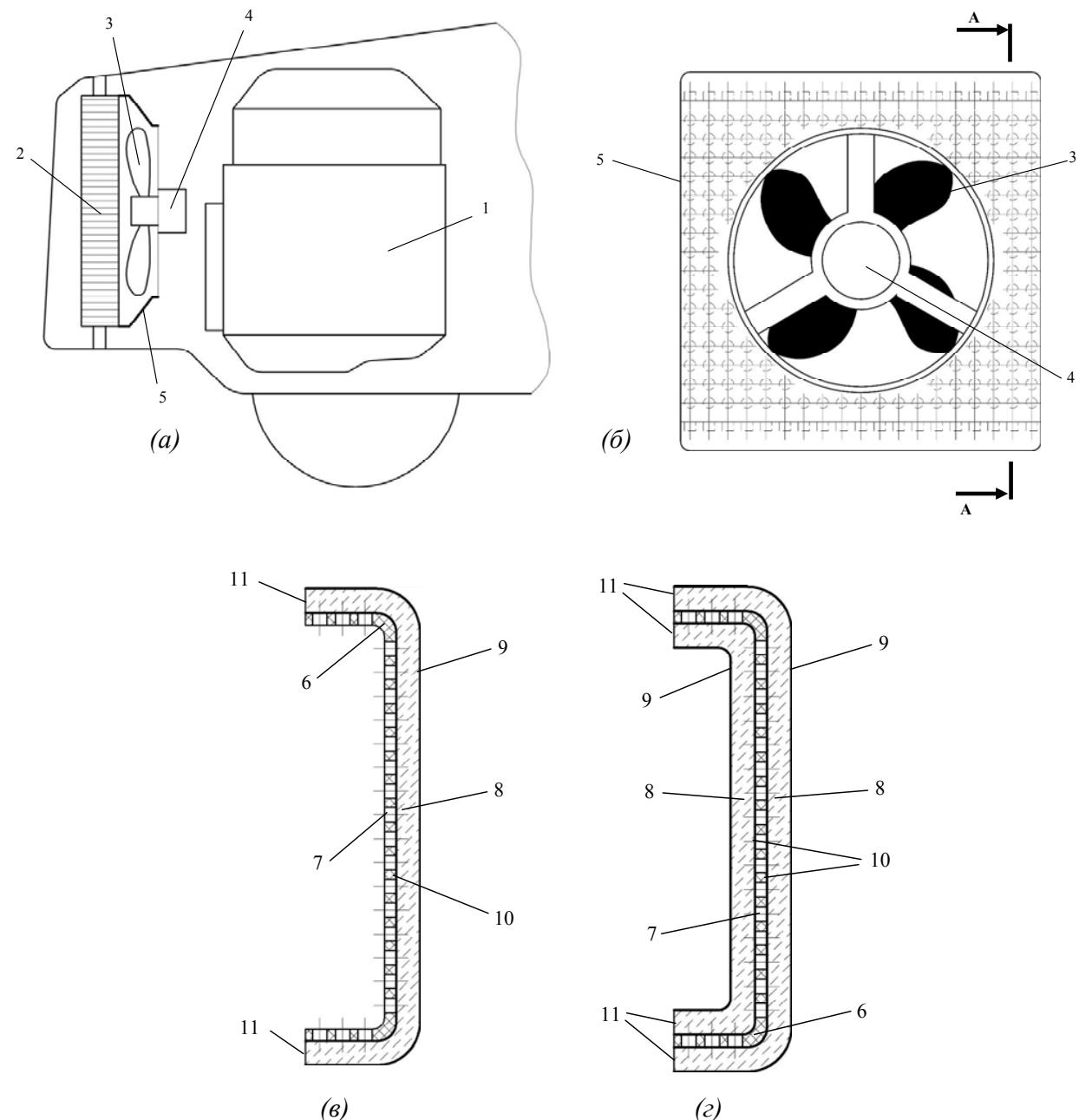


Рис. 9.17. Схема моторного отсека легкового автомобиля с установленным в нем ДВС и модулем системы жидкостного охлаждения ДВС (а), общий вид модуля системы охлаждения ДВС (б) и поперечные разрезы различных вариантов его исполнения (в, г):  
 1 – ДВС; 2 – радиатор модуля системы охлаждения ДВС; 3 – крыльчатка электровентилятора;  
 4 – приводной электродвигатель; 5 – направляющий кожух; 6 – несущий каркас кожуха; 7 – отверстия перфорации несущего каркаса; 8 – плосколистовая звукопоглощающая футеровка; 9 – защитный газовлагонепроницаемый слой пленки (нетканого материала); 10 – монтажный адгезионный слой;  
 11 – торцевые поверхности плосколистовых звукопоглощающих футеровок

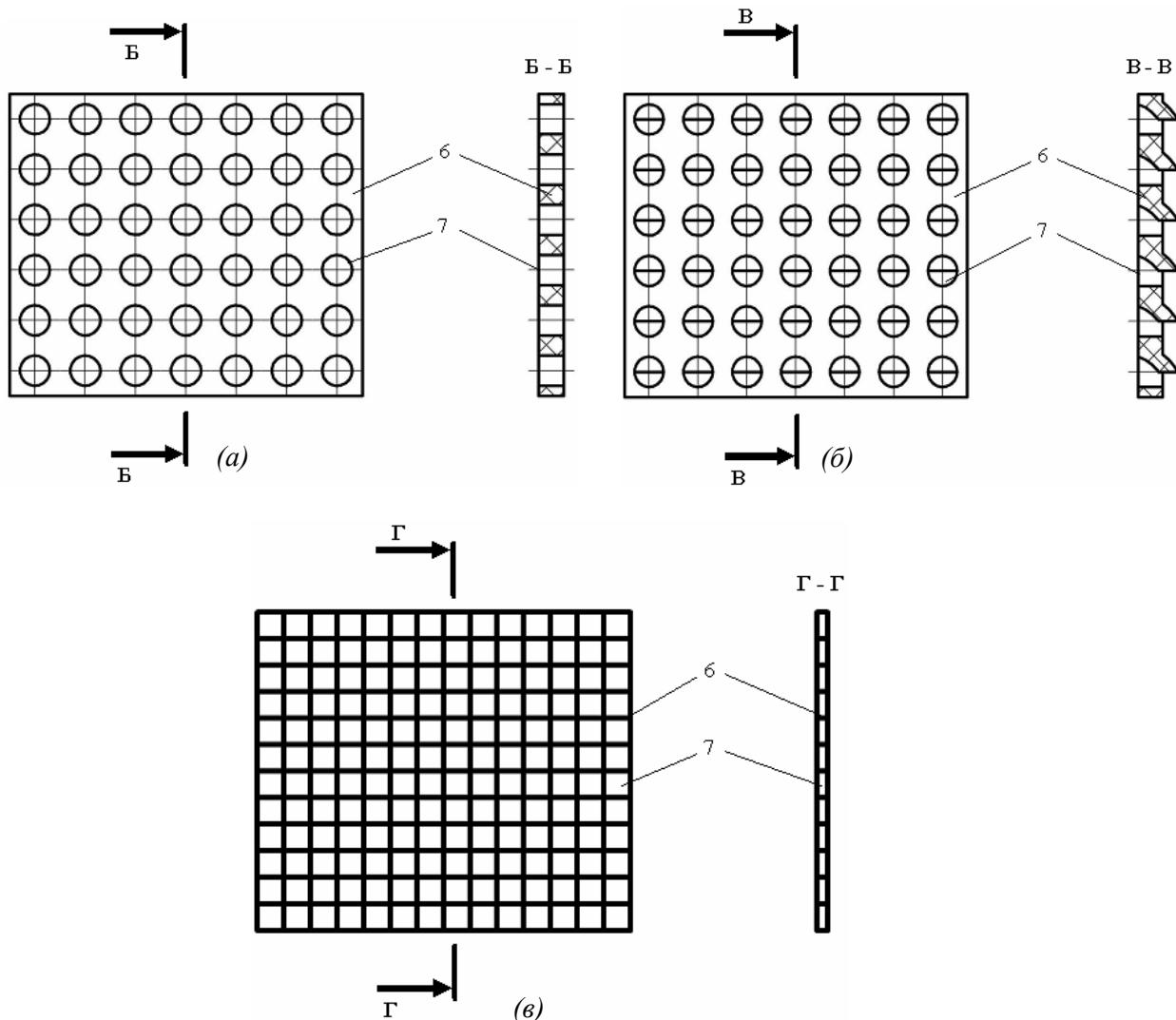


Рис. 9.18. Варианты исполнения структуры несущего каркаса направляющего кожуха вентилятора, в виде перфорированной пластинчатой детали с отверстиями перфорации круглой геометрической формы (а), в виде перфорированной пластинчатой детали с отверстиями перфорации в виде просечек и отгибами (б), в виде сетчатой детали из проволоки прямоугольного сечения (в): 6 – несущий каркас кожуха; 7 – отверстия перфорации или ячейки несущего каркаса

Патент РФ на изобретение RU 2117792  
«Моторный отсек транспортного средства»

Авторы: Паньков Л.А., Матяев А.С.,  
Фесина М.И., Данилов О.В.,  
Соколов А.В.

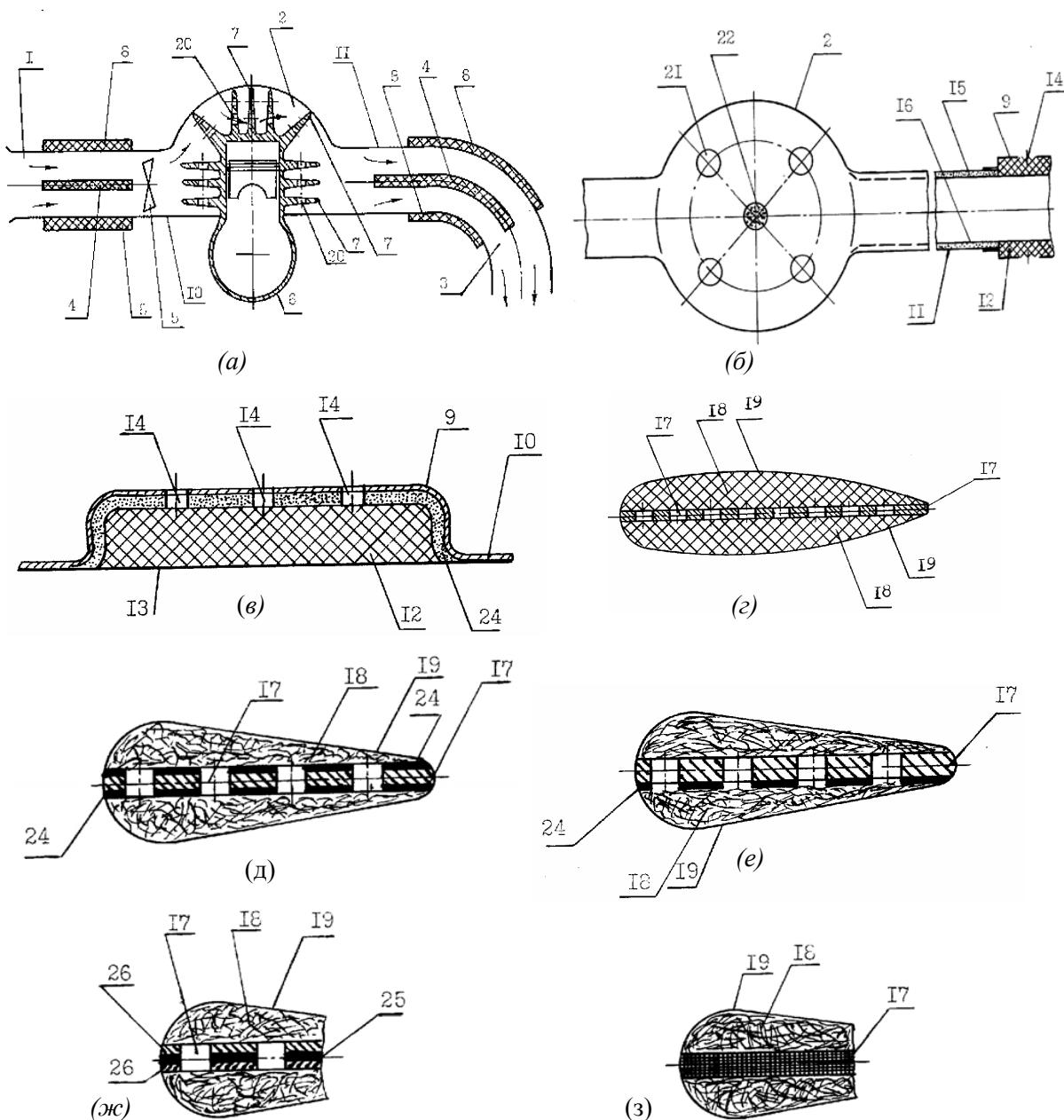


Рис. 19. Сечение ДВС (а), установленного в моторном отсеке АТС, вид в плане на моторный отсек АТС (б), вариант конструктивного исполнения шумопоглощающего элемента (в), смонтированного на стенке одного из воздуховодов, различные варианты конструктивного исполнения делителей воздушного потока (д-з):

1 – входной воздуховод моторного отсека; 2 – двигательный отсек; 3 – выходной воздуховод; 4 – делитель воздушного потока; 5 – всасывающий вентилятор; 6 – ДВС; 7 – наружные ребра охлаждения; 8 – шумопоглощающие элементы стенок воздуховодов; 9 – участок изгиба; 10, 11 – внутренние стенки воздуховодов; 12 – пористый звукопоглощающий материал; 13 – поверхность защитной фольги; 14, 20, 21 – сквозные отверстия перфорации; 15 – вязкоэластичный вибродемпфирующий материал; 16 – фольгированый слой; 17 – тонколистовая перфорированная пластина; 18 – пористый звукопоглощающий материал; 19 – защитная звукопрозрачная пленка; 22 – воздухопроницаемые элементы из материала типа МР (металлорезины) или прессованного сетчатого материала; 25 – внутренний пластиковый слой материала МПМ; 26 – внешние слои материала МПМ (металл – пластик – металл)

Патент РФ на изобретение RU 2328382  
 «Система отопления и вентиляции пассажирского салона легкового автомобиля (варианты)»

Авторы: Паньков Л.А.,  
 Фесина М.И., Краснов А.В.

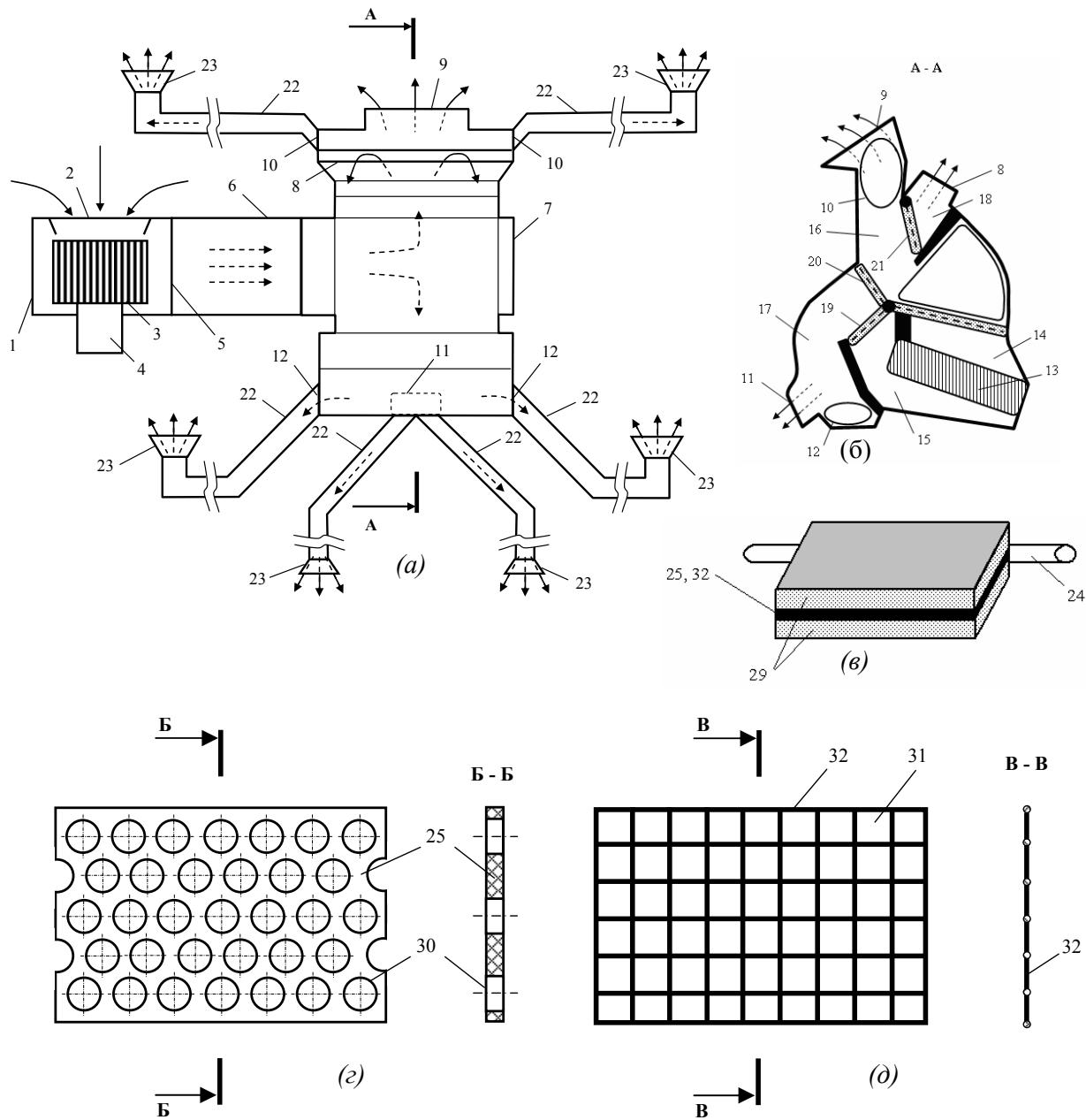


Рис. 9.20. Схемы типичной конструкции ОВС (а), поперечного сечения корпуса отопителя ОВС (б) пассажирского помещения (кабины водителя) АТС с установленными шумопоглощающими покрытиями на несущих каркасах регулирующих заслонок, структуры регулирующих заслонок (в) и конструктивного исполнения их несущих каркасов (г, д):  
 1 – корпус вентилятора; 2 – входное отверстие корпуса вентилятора; 3 – крыльчатка;  
 4 – электродвигатель; 5 – выходное окно корпуса вентилятора; 6 – соединительный воздуховод;  
 7 – корпус отопителя; 8...12, 14, 15 – подводящие и отводящие каналы; 13 – теплообменник;  
 16...18 – камеры корпуса отопителя; 19...21 – регулирующие заслонки; 22 – воздуховоды,  
 сообщающие корпус отопителя с пространством пассажирского помещения (кабины водителя);  
 23 – распределяющие устройства; 24 – ось вращения регулирующей заслонки; 25, 32 – несущий  
 каркас регулирующей заслонки; 29 – торцевые поверхности пористой звукопоглощающей футеровки;  
 30 – отверстия перфорации несущего каркаса; 31 – ячейки несущего каркаса

**Патент РФ на изобретение RU 2328382**  
«Система отопления и вентиляции (ОВС)  
пассажирского салона легкового автомобиля  
(варианты)» (продолжение)

Авторы: Паньков Л.А.,  
Фесина М.И., Краснов А.В.

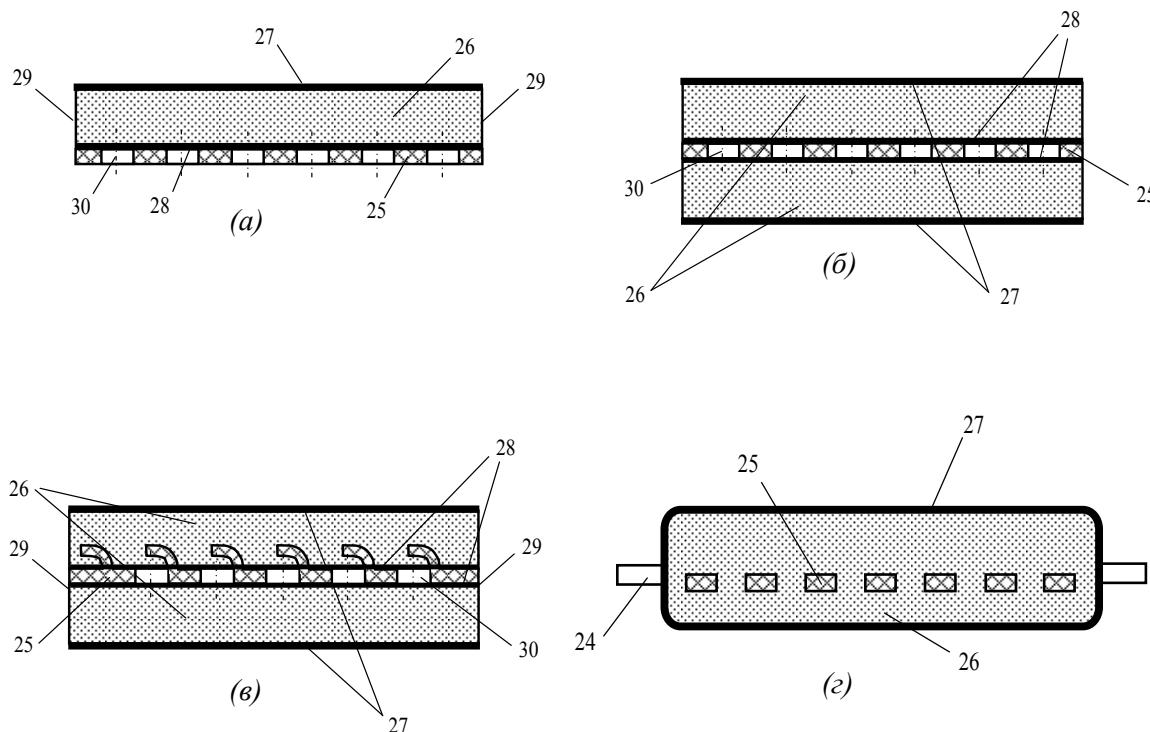


Рис. 9.21. Варианты исполнения регулирующих заслонок корпуса отопителя ОВС пассажирского помещения (кабины водителя) АТС:

24 – ось вращения регулирующей заслонки; 25, 32 – несущий каркас регулирующей заслонки;  
26 – слой пористого звукопоглощающего материала; 27 – слой защитной звукопрозрачной пленки;  
28 – адгезионный монтажный слой; 29 – торцевые поверхности пористой звукопоглощающей футеровки; 30 – отверстия перфорации несущего каркаса

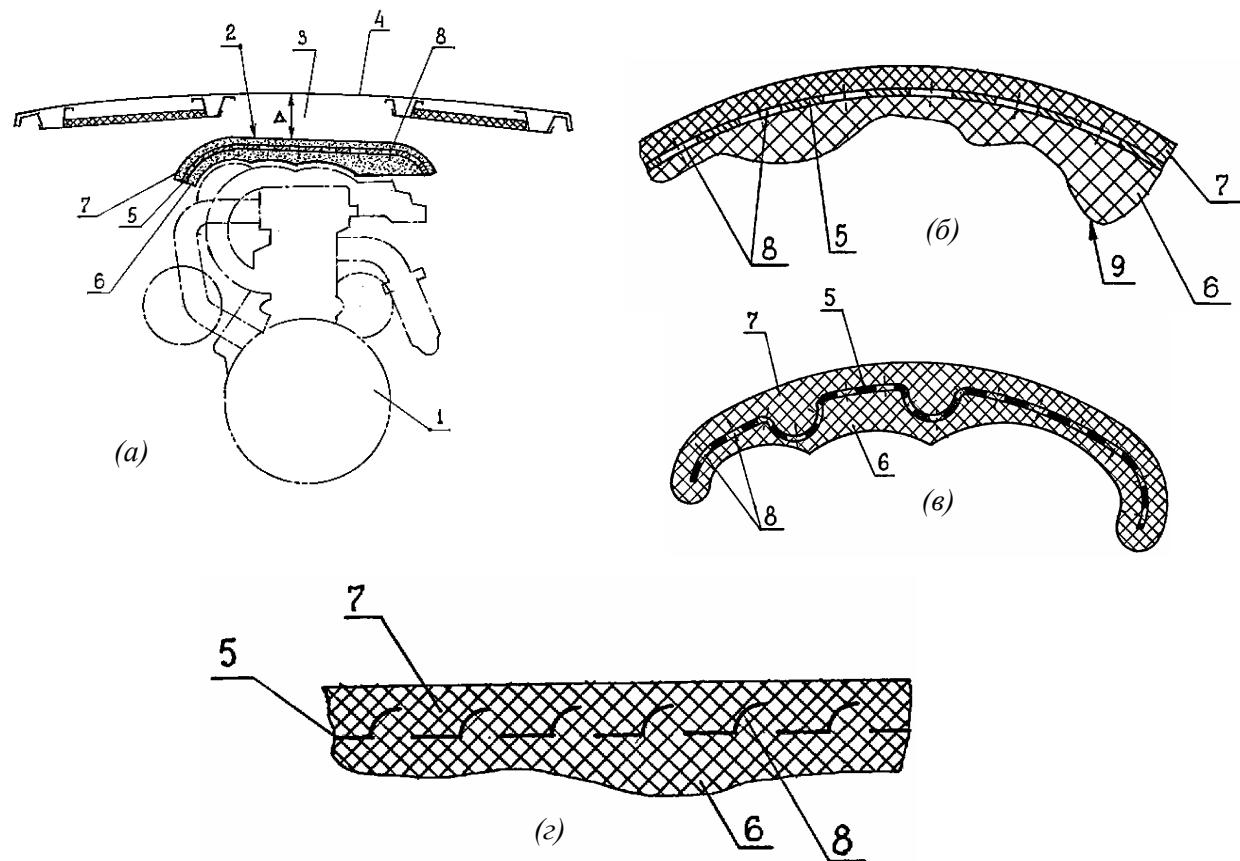
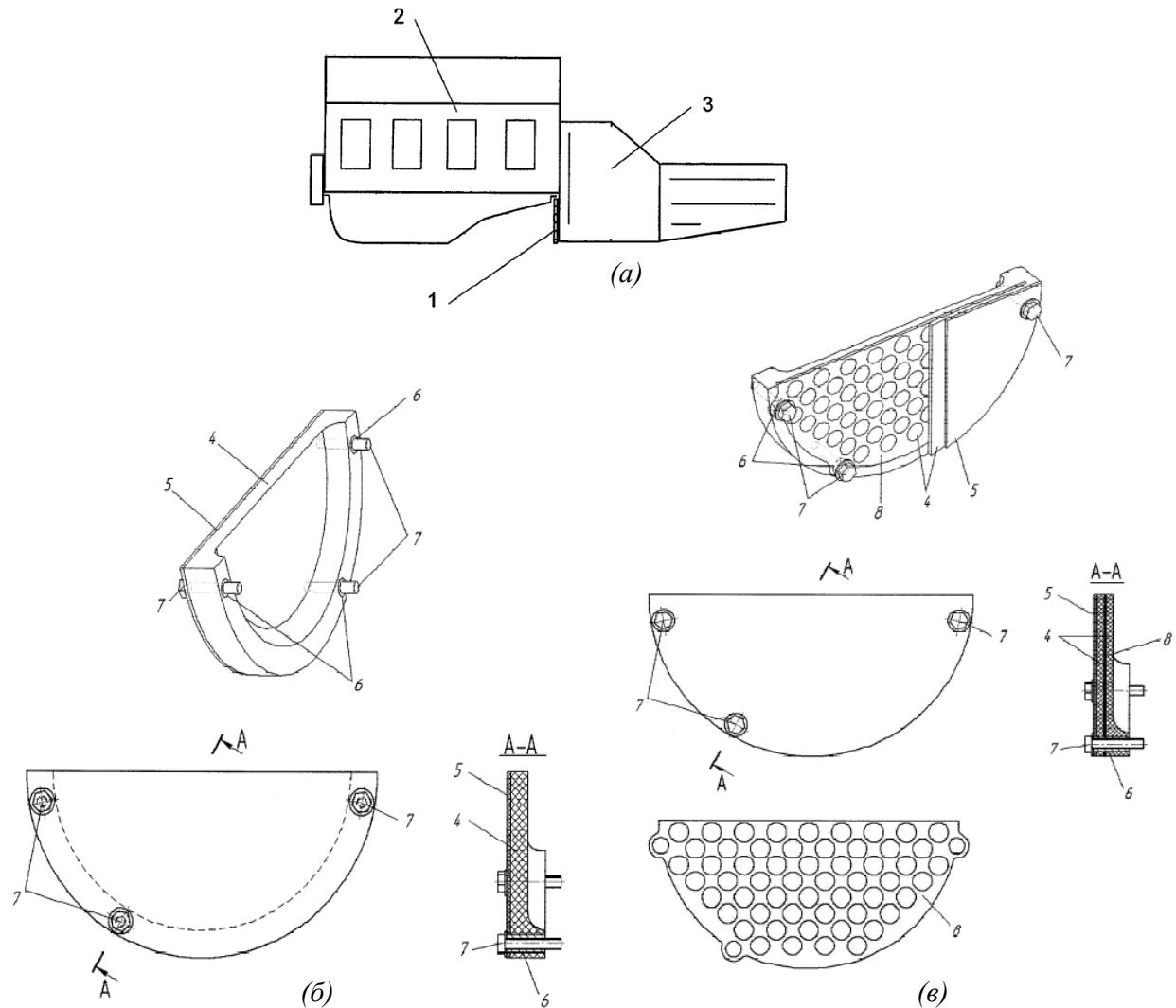


Рис. 9.22. Схема установки ДВС в моторном отсеке автомобиля, верхняя часть корпуса ДВС охвачена шумоизолирующим кожухом типа объемного шумопоглощающего элемента корпуса ДВС (а), и варианты его конструктивного исполнения (б, в, г):  
1 – корпус ДВС; 2 – шумоизолирующий кожух; 3 – воздушный зазор; 4 – капот кузова автомобиля;  
5 – несущий каркас; 6, 7 – панели из пористого звукопоглощающего материала; 8 – отверстия  
перфорации несущего каркаса 5; 9 – защитная звукопрозрачная пленка

**Патент РФ на изобретение RU 2410556**  
**«Кожух картера сцепления силового**  
**агрегата колесного транспортного**  
**средства»**

Авторы: Фесина М.И., Ломакин В.В.,  
 Малкин И.В., Дерябин И.В.,  
 Андреянов С.А.



**Рис. 9.23. Компоновка кожуха картера сцепления в составе силового агрегата транспортного средства (а) и различные варианты его конструктивного исполнения (б, в):**

1 – кожух; 2 – ДВС; 3 – картер сцепления; 4 – цельноформованный пористый волокнистый звукопоглощающий слой; 5 – внешний защитный звукопрозрачный газовлагонепроницаемый слой; 6 – закладные монтажные дистанционные втулки; 7 – крепежные элементы; 8 – ужесточающий каркасный элемент в виде закладной армирующей детали (типа металлического или пластмассового пластиначатого элемента, перфорированного мелкогабаритными отверстиями)

**Патент РФ на изобретение RU 2410556**  
**«Кожух картера сцепления силового агрегата колесного транспортного средства» (продолжение)**

Авторы: Фесина М.И., Ломакин В.В.,  
 Малкин И.В., Дерябин И.В.,  
 Андреянов С.А.

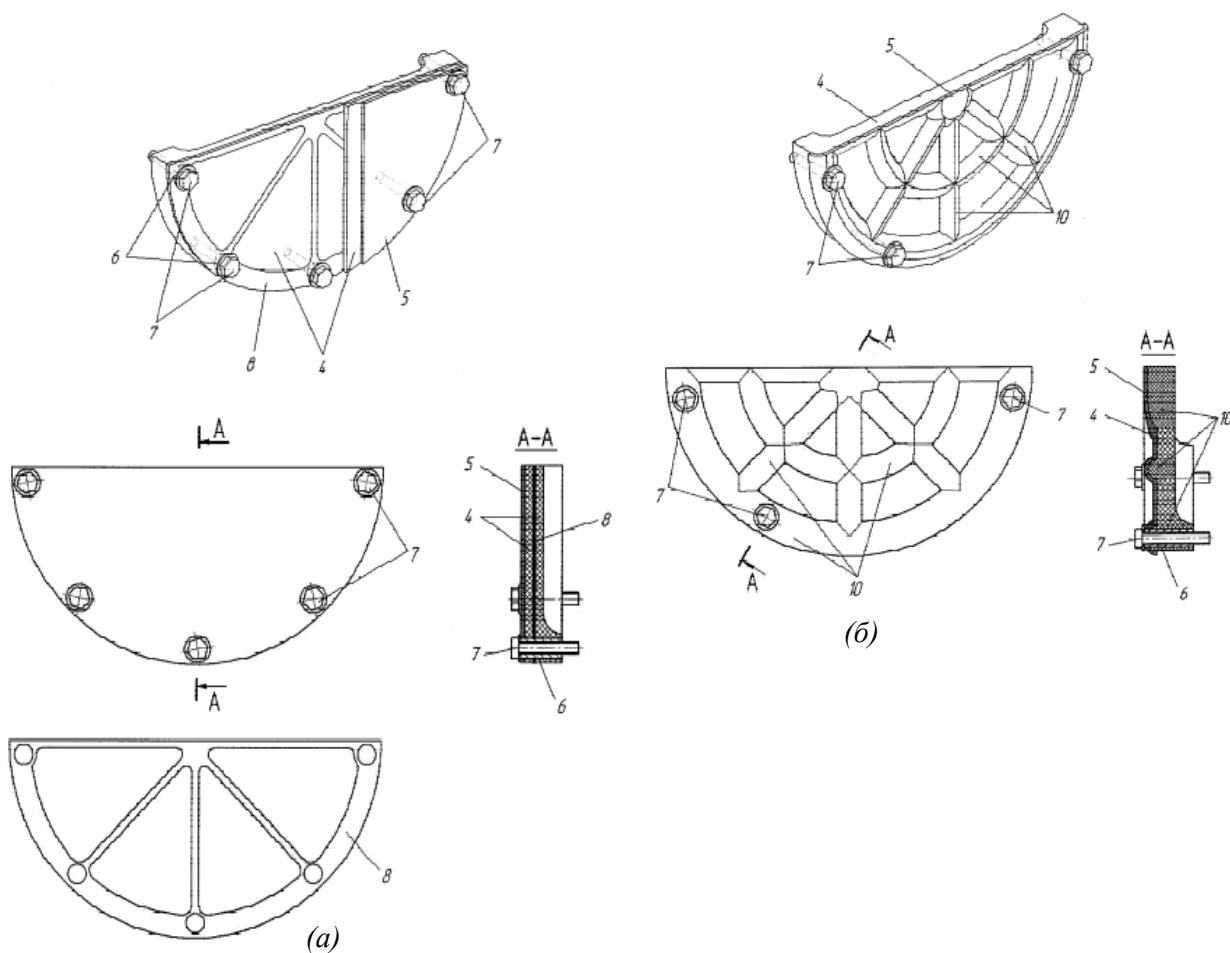
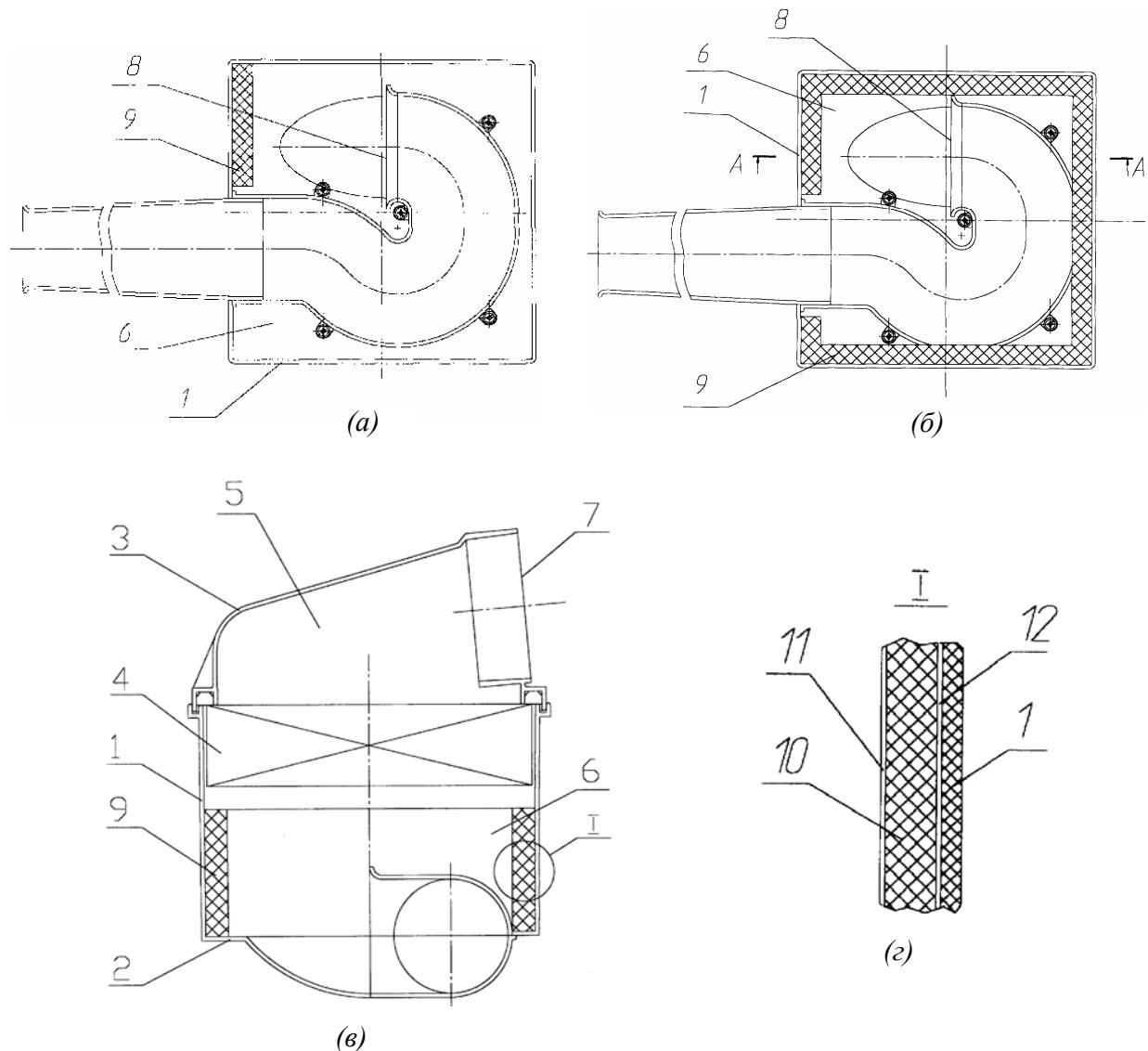


Рис. 9.24. Различные варианты конструктивного исполнения кожуха картера сцепления силового агрегата (а, б):

4 – цельноформованный пористый волокнистый звукопоглощающий слой; 5 – внешний защитный звукопрозрачный газовлагонепроницаемый слой; 6 – закладные монтажные дистанционные втулки; 7 – крепежные элементы; 8 – ужесточающий каркасный элемент в виде закладной армирующей детали (типа металлического или пластмассового пластиначатого элемента, перфорированного мелкогабаритными отверстиями); 10 – ужесточающий каркасный элемент в виде скелетного обребения пористой структуры кожуха, сформированного непосредственно пористым веществом используемого волокнистого звукопоглощающего материала

**Патент РФ на изобретение RU 2150018**  
«Воздухоочиститель двигателя внутреннего  
сгорания (ДВС) транспортного средства (ТС)»

Авторы: Фесина М.И., Филин Е.В.,  
Онищенко С.П., Лысенко Е.В.



**Рис. 9.25. Схемы воздухоочистителя ДВС ТС с установленными в его полости шумопоглощающими панелями (а, б, в) и многослойной структуры его стенок (г):**  
1 – боковая стенка в корпусе воздухоочистителя; 2 – днище корпуса; 3 – крышка корпуса;  
4 – фильтрующий элемент; 5 – полость очищенного воздуха; 6 – полость неочищенного  
воздуха; 7 – выпускное окно; 8 – выпускное окно; 9 – шумопоглощающие панели; 10 – пористый  
звукопоглощающий слой; 11 – защитный звукопрозрачный газовлагонепроницаемый слой;  
12 – монтажный адгезионный слой

**Патент РФ на полезную модель RU 52809**  
**«Шумопоглощающий брызговик моторного**  
**отсека транспортного средства (ТС)»**

Авторы: Фесина М.И.,  
Филин Е.В., Краснов А.В.

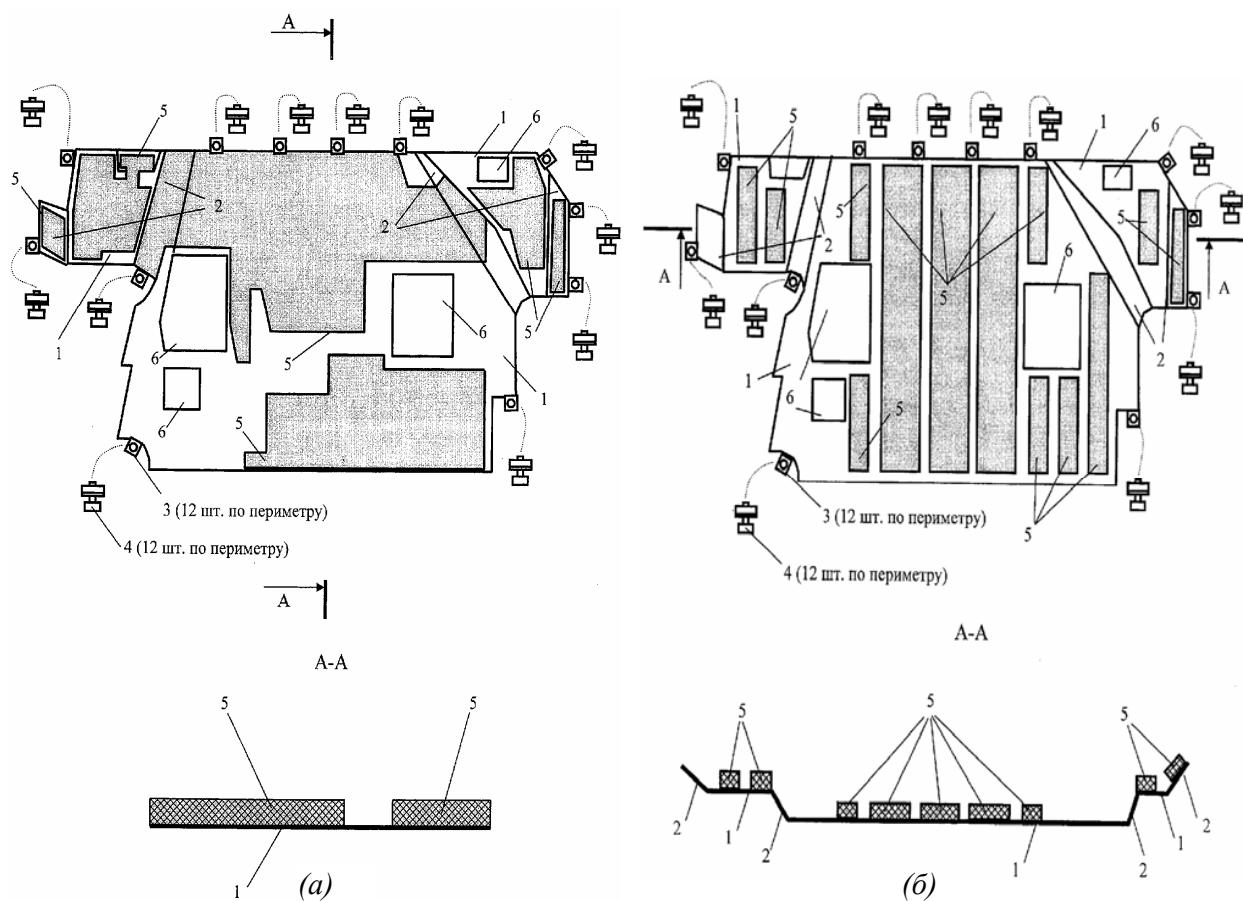


Рис. 9.26. Варианты исполнения шумопоглощающего брызговика моторного отсека ТС, на котором смонтированы автономные плосколистовые звукопоглощающие панели (а, б):  
1, 2 – горизонтальные и боковые поверхности несущей оболочки; 3 – монтажные фланцы;  
4 – механические крепежные элементы; 5 – плосколистовые звукопоглощающие панели;  
6 – вентиляционные окна

**Патент РФ на полезную модель RU 72453**  
**«Шумопоглощающий брызговик моторного**  
**отсека транспортного средства (ТС)»**

Авторы: Фесина М.И.,  
 Краснов А.В., Филин Е.В.,

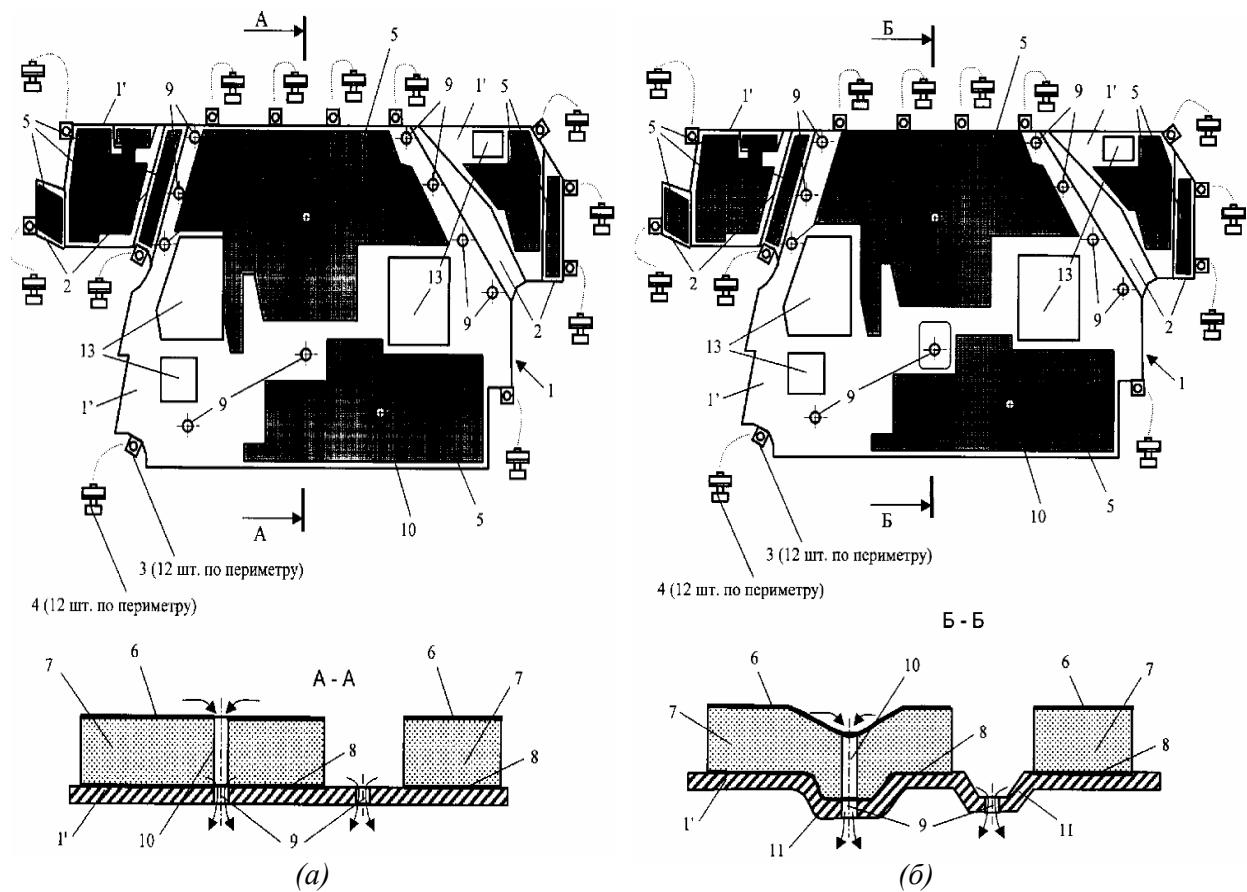


Рис. 9.27. Варианты исполнения шумопоглощающего брызговика моторного отсека ТС, на котором смонтированы автономные плосколистовые звукопоглощающие панели (а, б):  
 1 – несущая оболочка; 1' – горизонтальные поверхности несущей оболочки; 2 – наклонные поверхности несущей оболочки; 3 – монтажные фланцы; 4 – механические крепежные элементы; 5 – плосколистовые звукопоглощающие панели; 6 – защитный звукопрозрачный газовлагонепроницаемый слой; 7 – слой пористого звукопоглощающего материала; 8 – монтажный адгезионный слой; 9 – влагоотводящие дренажные отверстия; 10 – сквозные отверстия перфорации; 11 – вогнутые участки; 13 – открытые вентиляционные проемы

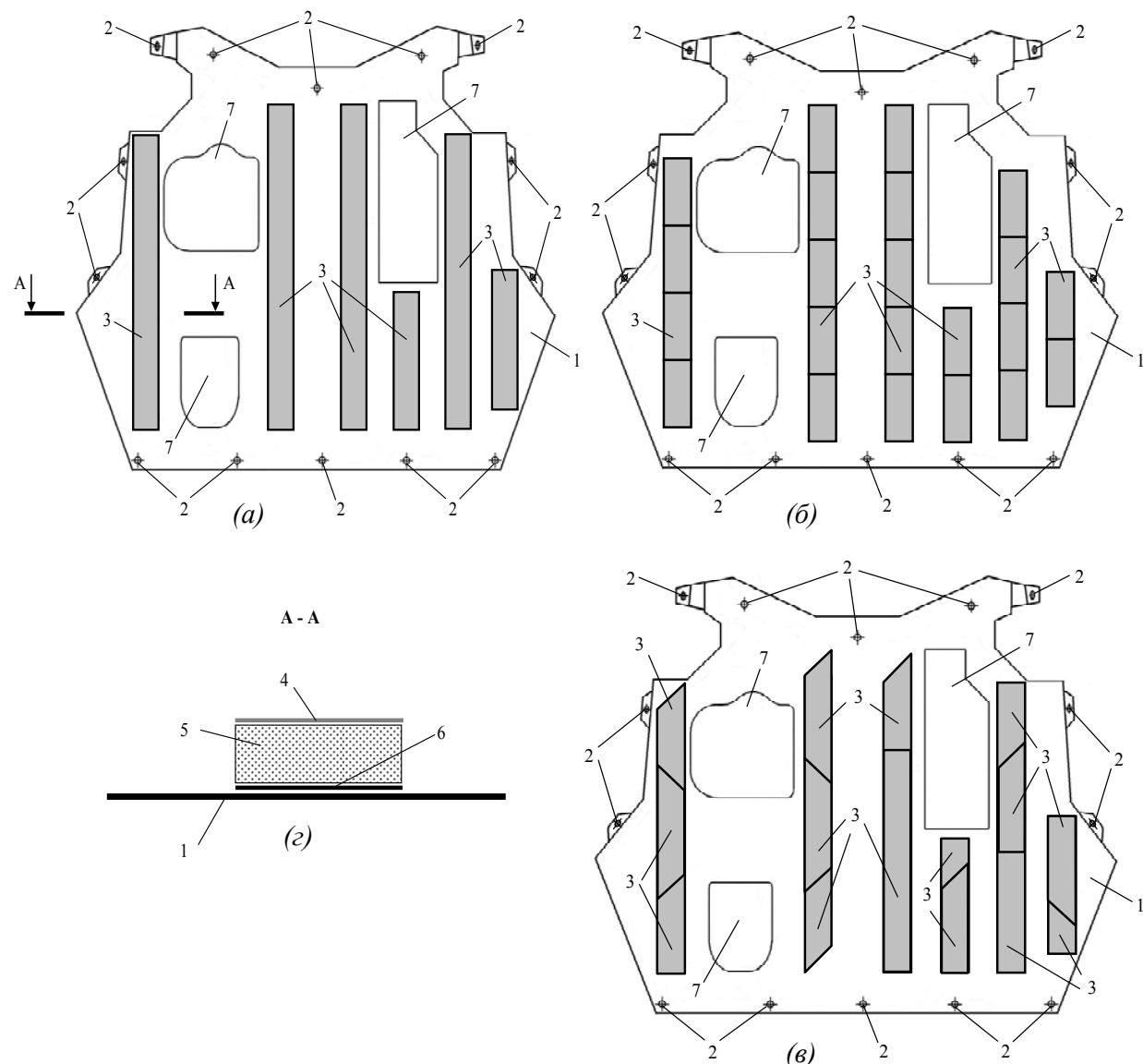


Рис. 9.28. Вид на лицевую сторону (со стороны моторного отсека – а, б, в) и сечение фрагментной зоны брызговика моторного отсека в сборе (г), на котором смонтированы различные варианты исполнения малогабаритных звукопоглощающих панелей:  
 1 – несущая оболочка брызговика; 2 – крепежные отверстия; 3 – плосколистовые звукопоглощающие панели; 4 – слой звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленки; 5 – слой пористого звукопоглощающего материала; 6 – монтажный адгезионный слой; 7 – открытые вентиляционные проемы брызговика (моторного отсека)

**Патент РФ на полезную модель RU 81925**  
**«Кожух двигателя внутреннего сгорания**  
**(ДВС) транспортного средства»**

Авторы: Фесина М.И.,  
Филин Е.В., Краснов А.В.

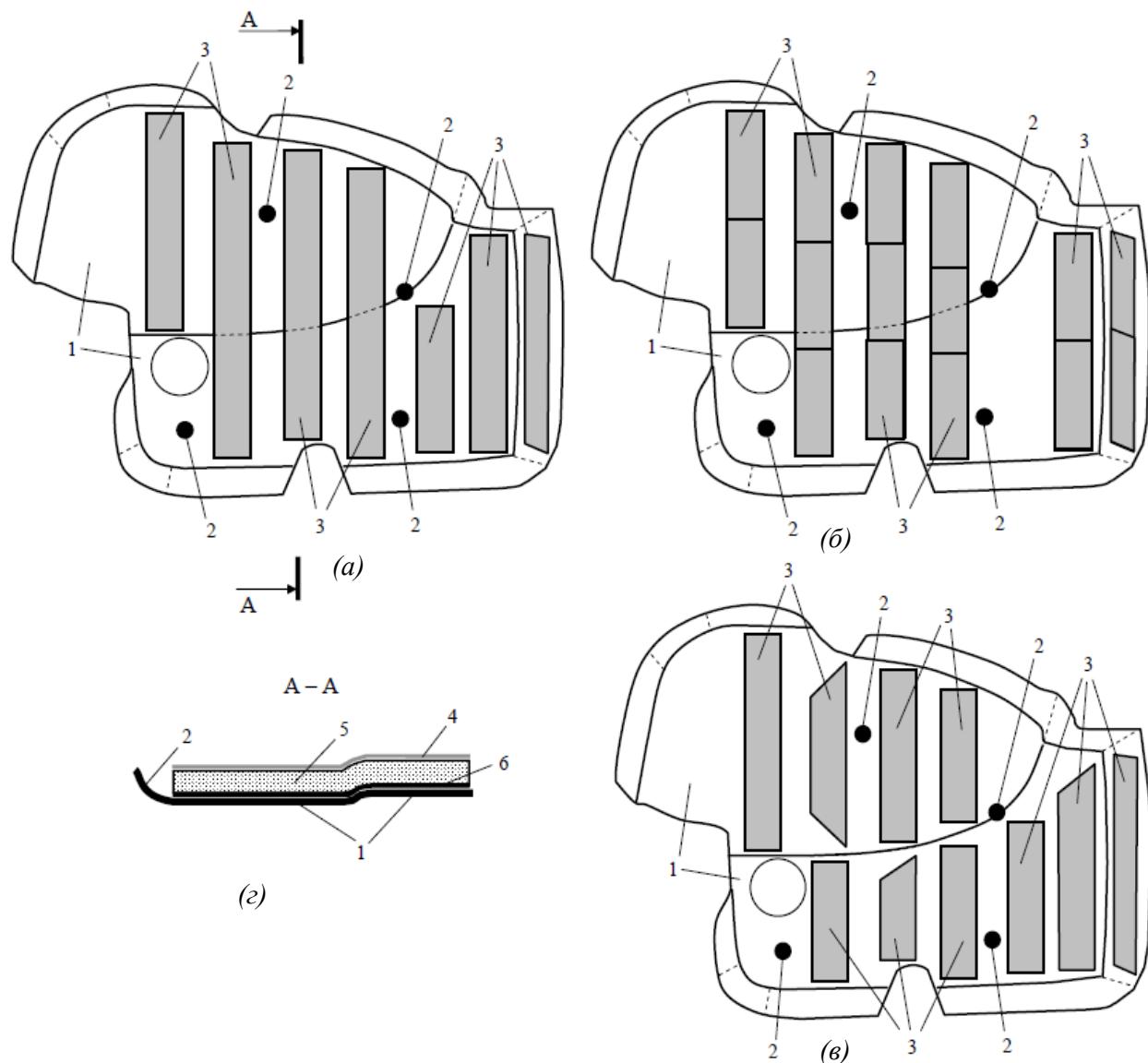


Рис. 9.29. Вид на внутреннюю поверхность (со стороны смонтированных на несущей оболочке кожуха звукопоглощающих панелей – а, б, в) и сечение фрагментной зоны верхнего кожуха ДВС в сборе (г) со смонтированными звукопоглощающими панелями:  
1 – несущая оболочка; 2 – крепежные узлы; 3 – плосколистовые звукопоглощающие панели;  
4 – слой пористого звукопоглощающего материала; 5 – слой звукопрозрачной  
газовлагонепроницаемой пленки; 6 – монтажный адгезионный слой

**Патент РФ на изобретение RU 2456173**  
**«Шумопоглощающее покрытие воздуховодных**  
**каналов отопительно-вентиляционной системы**  
**(ОВС) пассажирского помещения (кабины водителя)**  
**автотранспортного средства»**

Авторы: Фесина М.И.,  
 Краснов А.В., Горина Л.Н.,  
 Рябикин С.А.

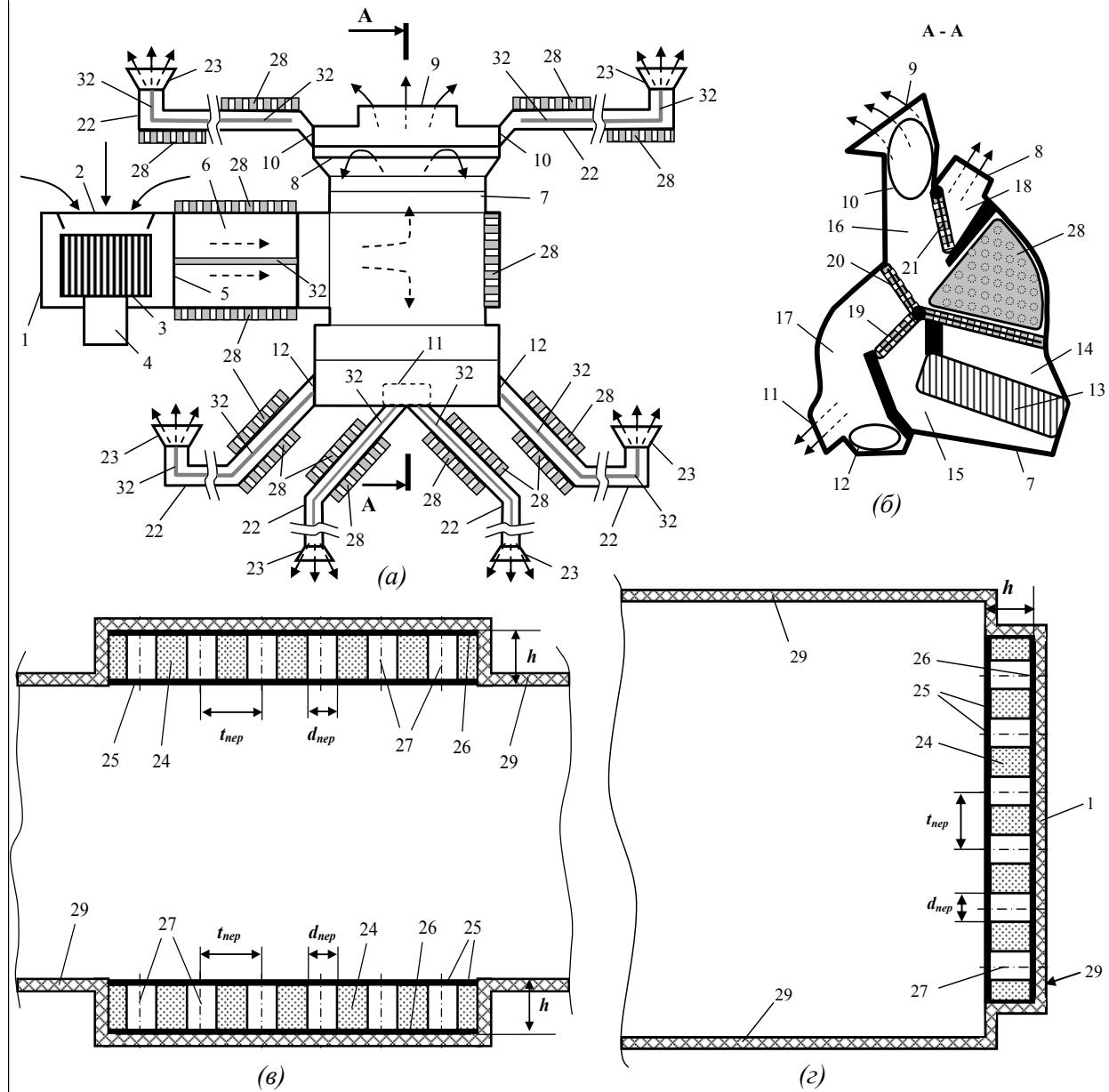


Рис. 9.30. Схема типичной конструкции ОВС (а) и поперечного сечения корпуса отопителя ОВС (б) пассажирского помещения (кабины водителя) АТС, с установленными шумопоглощающими покрытиями в поднутрениях воздуховодных каналов (в, г), на поверхностях несущих каркасов регулирующих заслонок и делителей воздушного потока:  
 1 – корпус вентилятора; 2 – входное отверстие корпуса вентилятора; 3 – крыльчатка;  
 4 – электродвигатель; 5 – выходное окно корпуса вентилятора; 6 – соединительный воздуховод;  
 7 – корпус отопителя; 8...12, 14, 15 – подводящие и отводящие каналы; 13 – теплообменник;  
 16...18 – камеры корпуса отопителя; 19...21 – регулирующие заслонки; 22 – воздуховоды,  
 сообщающие корпус отопителя с пространством пассажирского помещения (кабины водителя);  
 23 – распределяющие устройства; 24 – слой пористого звукопоглощающего материала; 25 – слой  
 звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленки или ткани; 26 – монтажный адгезионный слой;  
 27 – отверстия перфорации; 28 – шумопоглощающее покрытие; 29 – стенка воздуховодного элемента;  
 32 – делитель воздушного потока;  $d_{nep}$  – диаметр отверстий перфорации;  $t_{nep}$  – межцентровой шаг  
 отверстий перфорации;  $h$  – толщина слоя пористого звукопоглощающего материала

**Патент РФ на изобретение RU 2465173**  
 «Шумопоглощающее покрытие воздуховодных каналов отопительно-вентиляционной системы (ОВС) пассажирского помещения (кабины водителя) автотранспортного средства» (продолжение)

Авторы: Фесина М.И.,  
 Краснов А.В., Горина Л.Н.,  
 Рябикин С.А.

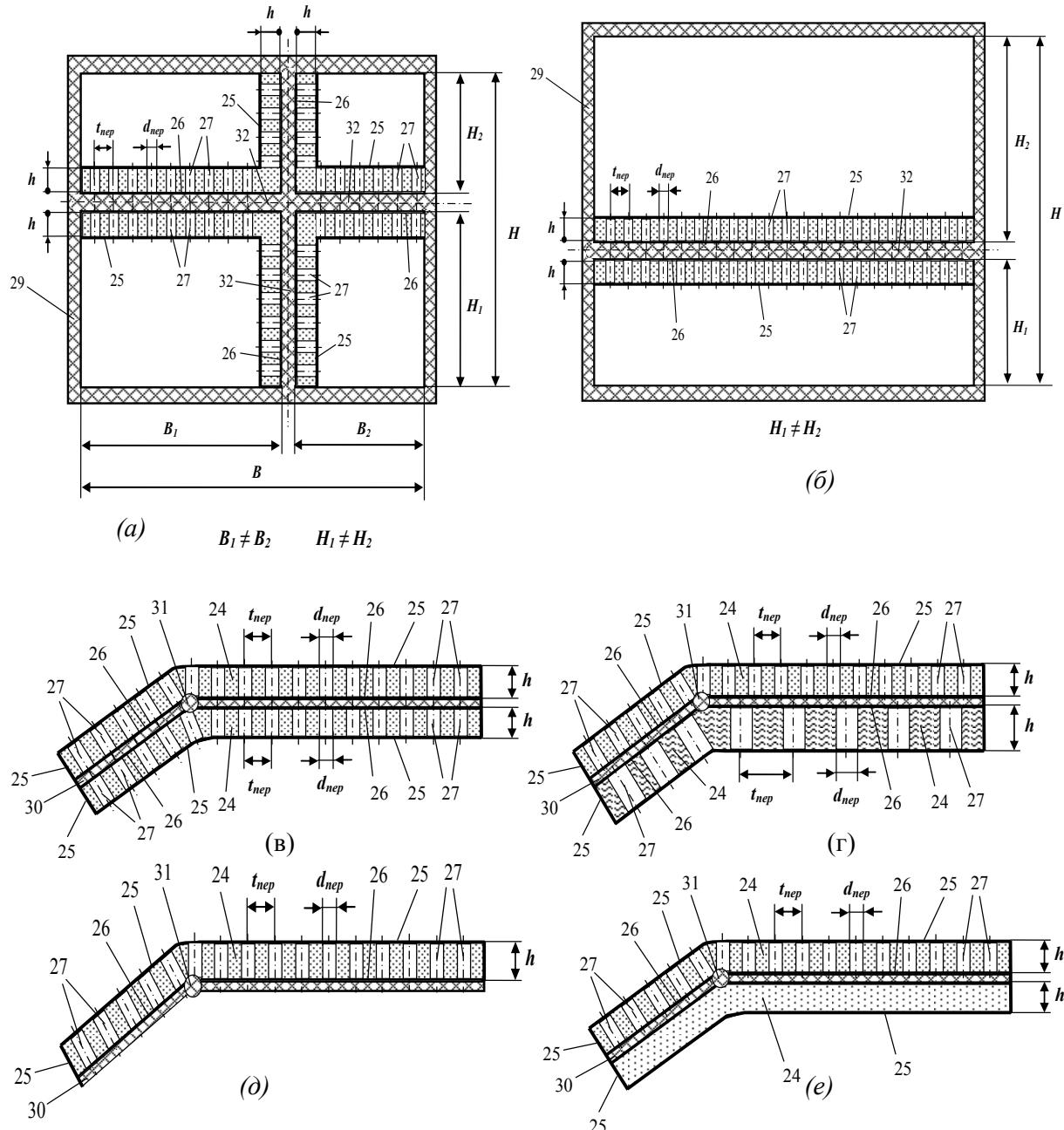
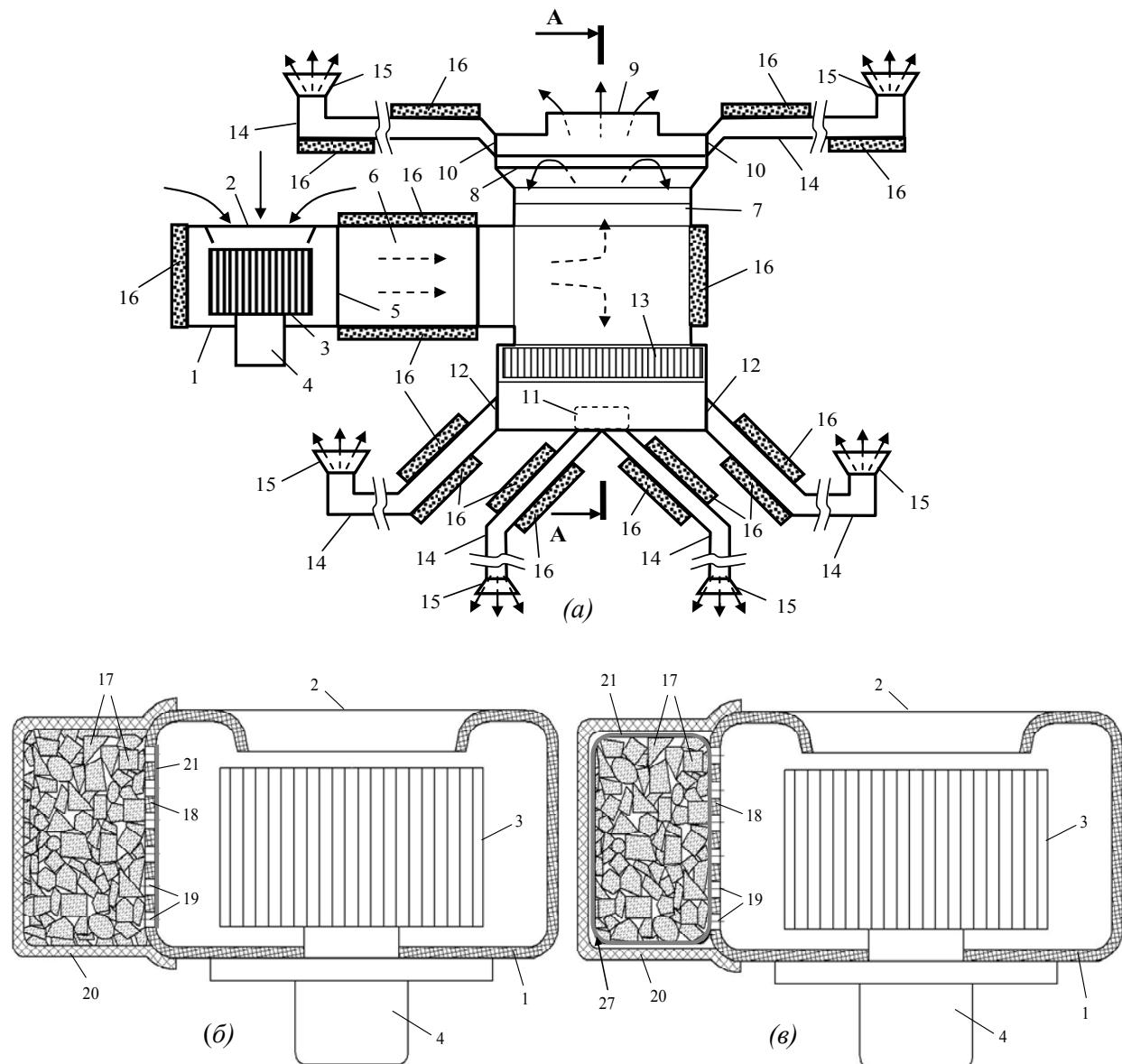


Рис. 9.31. Схемы сечений воздуховодных элементов ОВС (а, б) и регулирующих заслонок корпуса ОВС пассажирского помещения (кабины водителя) АТС, с установленными на их поверхностях шумопоглощающими покрытиями:

24 – слой пористого звукопоглощающего материала; 25 – слой звукопрозрачной газовлагонепроницаемой пленки или ткани; 26 – монтажный адгезионный слой; 27 – отверстия перфорации; 28 – шумопоглощающее покрытие; 29 – стенка воздуховодного элемента; 32 – делитель воздушного потока;  $d_{nep}$  – диаметр отверстий перфорации;  $t_{nep}$  – межцентровой шаг отверстий перфорации;  $h$  – толщина слоя пористого звукопоглощающего материала;  $H$  – высота воздуховодного элемента;  $H_1$ ,  $H_2$  – расстояния от торцевых поверхностей горизонтальных стенок воздуховодного элемента до центральной линии делителя потока;  $B$  – ширина воздуховодного элемента;  $B_1$ ,  $B_2$  – расстояния от торцевых поверхностей вертикальных стенок воздуховодного элемента до центральной линии делителя потока

**Заявка РФ на изобретение RU 2011116503**  
**«Отопительно-вентиляционная система (ОВС)**  
**пассажирского помещения (кабины водителя)**  
**автотранспортного средства»**

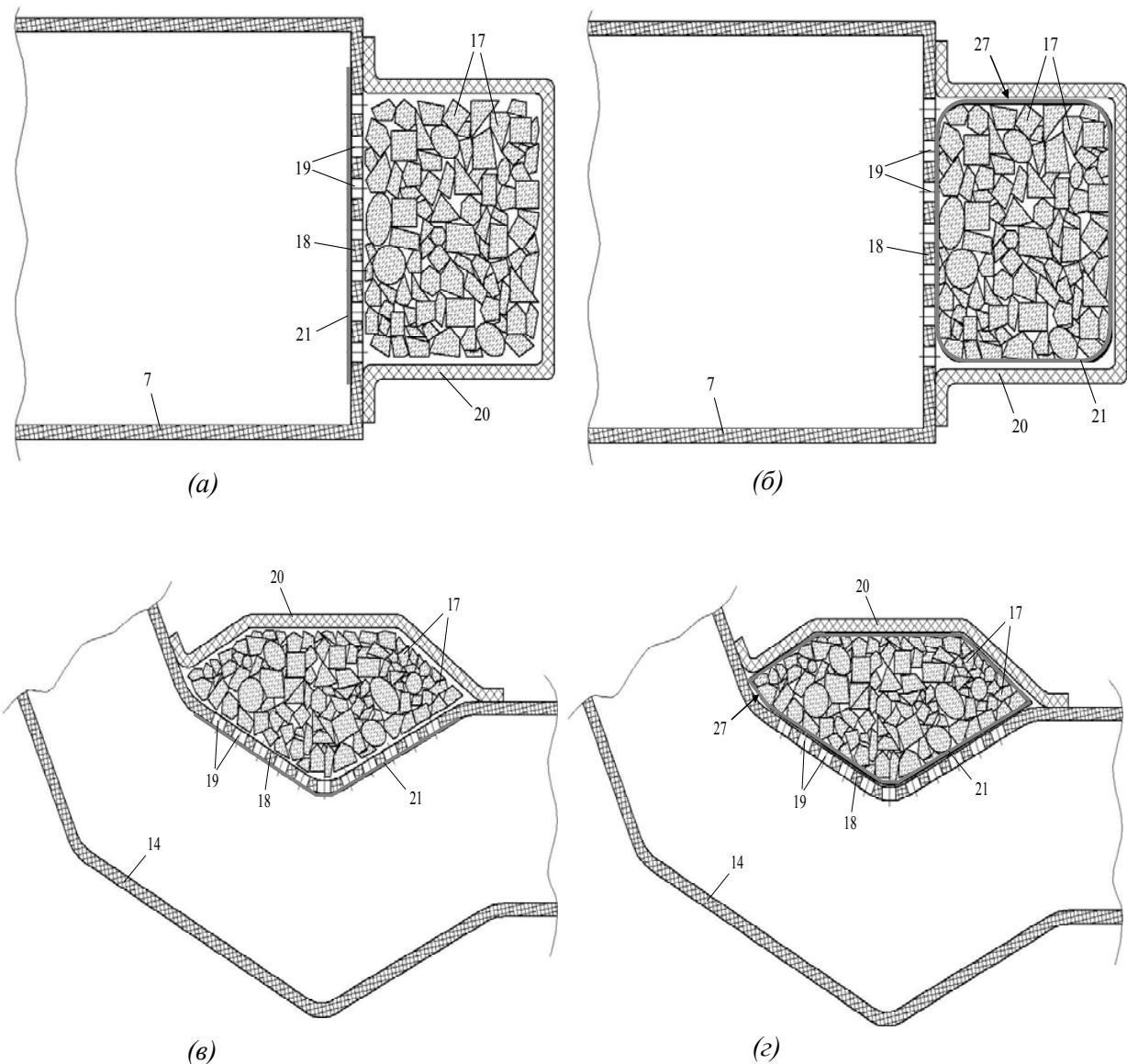
Авторы: Фесина М.И.,  
 Краснов А.В., Горина Л.Н.,



**Рис. 9.32. Схемы типичной конструкции ОВС пассажирского помещения (кабины водителя) АТС (а) и корпуса ее вентилятора (б, в) с установленными шумопоглощающими модулями:**  
 1 – корпус электровентилятора; 2 – входное отверстие корпуса вентилятора; 3 – крыльчатка;  
 4 – электродвигатель; 5 – выходное окно корпуса вентилятора; 6 – соединительный воздуховод;  
 7 – корпус отопителя; 8..-12 – распределительные воздуховодные окна; 13 – теплообменник;  
 14 – распределительные воздуховодные каналы (каналы сообщающие полость корпуса отопителя  
 с различными зонами обитаемого водителем и пассажирами пространства пассажирского помещения,  
 или кабины водителя); 15 – воздухораспределяющие устройства; 16 – шумопоглощающие  
 модули; 17 – обособленные дроблённые пористые звукопоглощающие фрагменты; 18 – локальный  
 перфорированный присоединительный участок ограниченной зоны стенки корпусных и/или  
 воздуховодных элементов; 19 – отверстия перфорации; 20 – присоединительная корпусная оболочка  
 шумопоглощающего модуля; 21 – защитный звукопрозрачный слой влагонепроницаемой пленки или  
 тканевого материала

**Заявка РФ на изобретение RU 2011116503**  
«Отопительно-вентиляционная система (ОВС) пассажирского помещения (кабины водителя) автотранспортного средства» (продолжение)

Авторы: Фесина М.И.,  
Краснов А.В., Горина Л.Н.,



**Рис. 9.33. Схемы типичной конструкции ОВС пассажирского помещения (кабины водителя) АТС (а) и корпуса ее вентилятора (б, в) с установленными шумопоглощающими модулями:**  
7 – корпус отопителя; 14 – распределительные воздуховодные каналы (каналы сообщающие полость корпуса отопителя с различными зонами обитаемого водителем и пассажирами пространства пассажирского помещения, или кабины водителя); 17 – обособленные дроблённые пористые звукопоглощающие фрагменты; 18 – локальный перфорированный присоединительный участок ограниченной зоны стенки корпусных и/или воздуховодных элементов; 19 – отверстия перфорации; 20 – присоединительная корпусная оболочка шумопоглощающего модуля; 21 – защитный звукопрозрачный слой влагонепроницаемой пленки или тканевого материала; 27 – отдельный герметичный пакетированный брикетный элемент

**Патент РФ на изобретение RU 2369495**  
«Шумоизоляционная обивка кузова автомобиля»

Авторы: Паньков Л.А.,  
Фесина М.И., Краснов А.В.

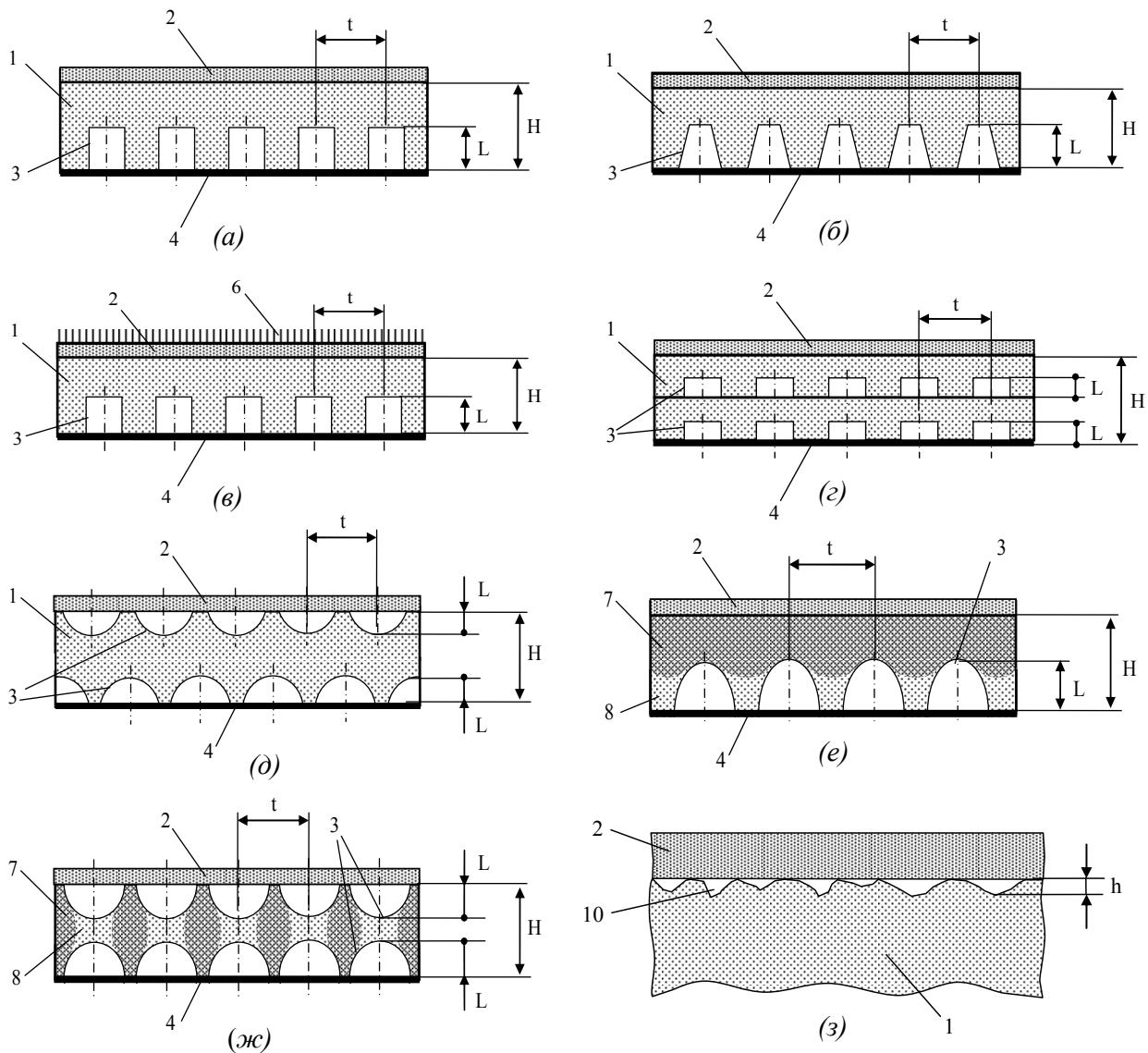


Рис. 9.34. Структурная схема в виде поперечного разреза шумоизоляционной обивки, установленной на несущей панели кузова АТС (а–ж) и зоны сопряжения поверхности ее монтажной части (з), содержащей монтажную часть из структурированного тупиковыми отверстиями слоя пористого воздухопропускаемого звукопоглощающего материала пониженной плотности и лицевую часть из сплошного уплотненного пористого воздухопропускаемого слоя звукопоглощающего материала:

1 – слой пористого звукопоглощающего материала монтажной части; 2 – пористый воздухопропускаемый слой повышенной плотности; 3 – тупиковые отверстия; 4 – панель кузова; 5 – слой пористого уплотненного звукоизоляционного материала лицевой части; 6 – декоративный слой; 7 – часть структуры слоя пористого звукопоглощающего материала монтажной части, обладающая более высокой изгибной жесткостью и более низкой пористостью по сравнению с частью структуры 8 слоя пористого звукопоглощающего материала монтажной части; 8 – часть структуры слоя пористого звукопоглощающего материала монтажной части, обладающая более низкой изгибной жесткостью и более высокой пористостью по сравнению с частью структуры 7 слоя пористого звукопоглощающего материала монтажной части; 10 – рельефный микропрофиль чередующихся впадин и выступов, выполненный в поверхности слоя пористого звукопоглощающего материала монтажной части;  $t$  – межцентровой (межосевой) шаг тупиковых отверстий перфорации;  $L$  – глубина тупиковых отверстий перфорации;  $H$  – толщина слоя пористого звукопоглощающего материала монтажной части;  $h$  – глубина впадин рельефного микропрофиля

Авторское свидетельство СССР  
на изобретение SU 1081364  
«Глушитель шума впуска двигателя транспортного средства»

Авторы: Фесина М.И.,  
Старобинский Р.Н., Лазарев Ю.П.,  
Лысенко Е.В.

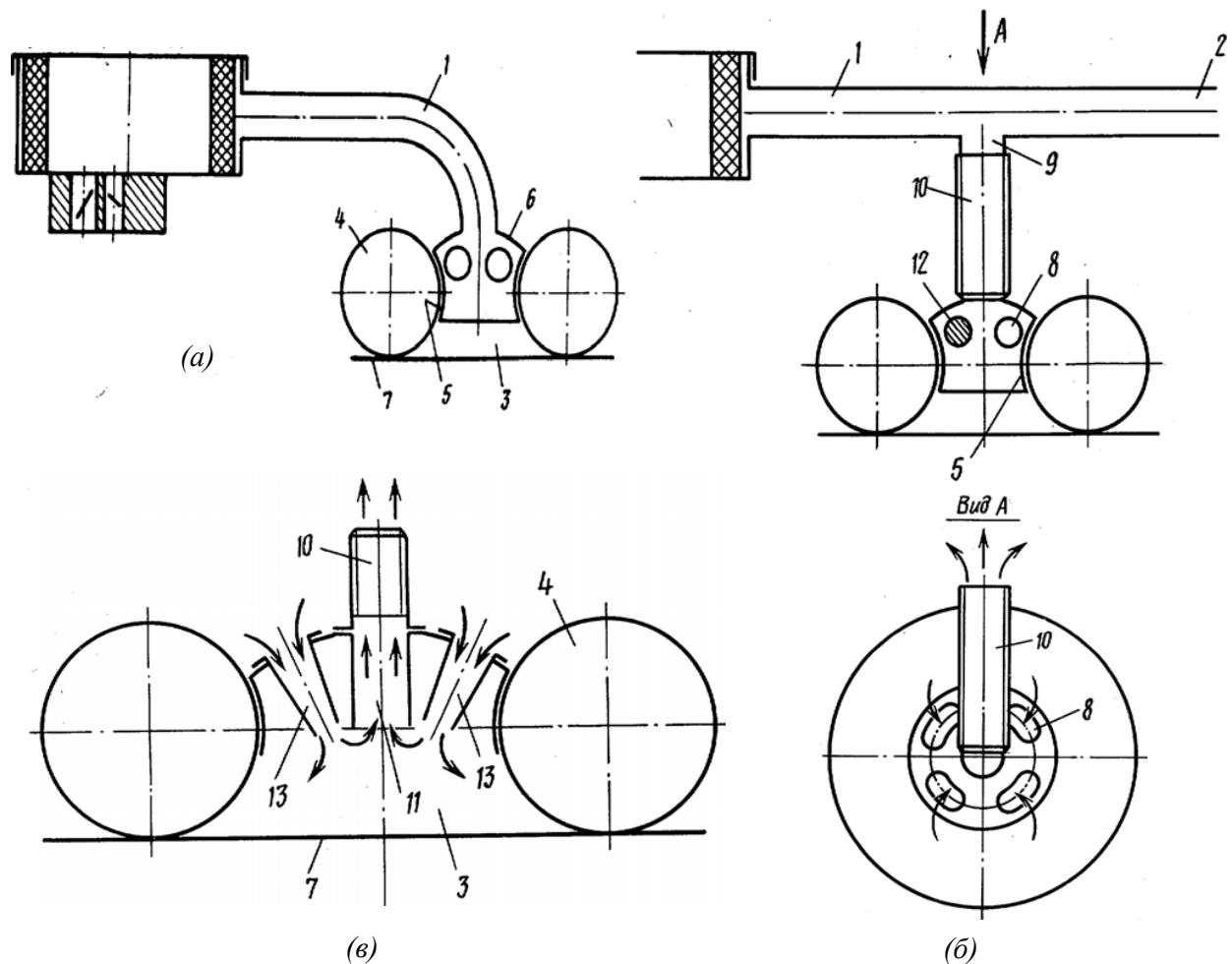


Рис. 9.35. Схема глушителя шума системы впуска двигателя с последовательным (а) и параллельным (б) присоединением расширительной камеры, схема глушителя шума системы впуска двигателя с дополнительно установленными трубчатыми элементами (в):  
1 – воздухозаборная труба; 2 – выпускной срез; 3 – расширительная резонаторная камера;  
4 – внутренняя полость запасного колеса; 5, 6 – диск запасного колеса; 7 – плоский панельный элемент кузова автомобиля; 8 – отверстие диска запасного колеса; 9 – отверстие воздухозаборной трубы; 10 – дополнительный патрубок; 11 – свободный конец (срез) дополнительного патрубка;  
12 – резиновая (пластиковая) заглушка; 13 – съемные трубчатые элементы

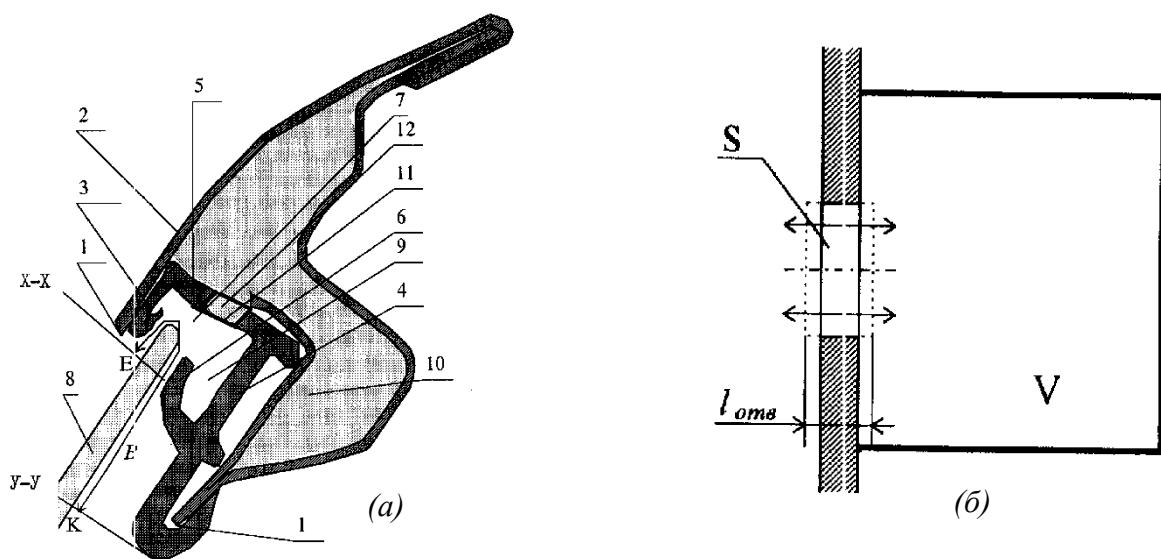


Рис. 9.36. Поперечное сечение уплотнительного узла подвижного стекла транспортного средства (а), схематичное представление горла резонатора Гельмгольца с учетом присоединенной массы (б):

- 1 – кромка полой рамки боковой двери кузова; 2 – полая рамка двери;
- 3 – наружная стенка упругого элемента; 4 – внутренняя стенка упругого элемента;
- 5 – донная перемычка упругого элемента; 6 – упругий выступ внутренней стенки 4;
- 7 – внутренний паз; 8 – подвижное стекло; 9 – воздушная полость зоны контактирования;
- 10 – полость рамки двери; 11 – калиброванное отверстие (горло резонатора); 12 – заглушка из воздухопропускаемого звукопоглощающего материала; Е – кромка щели; ЕК – воздушный акустический (волноводный) канал; Х-Х, Y-Y – параллельные плоскости; V – объем камеры резонатора 10;  $l_{\text{отв}}$  – длина калиброванного отверстия (горла резонатора);
- $S$  – площадь калиброванного отверстия (горла резонатора)

**Патент РФ на изобретение RU 2098290**  
**«Уплотнительный узел подвижного стекла**  
**окна двери транспортного средства»**

Авторы: Мирзоев Г.К.,  
 Фесина М.И., Данилов О.В.

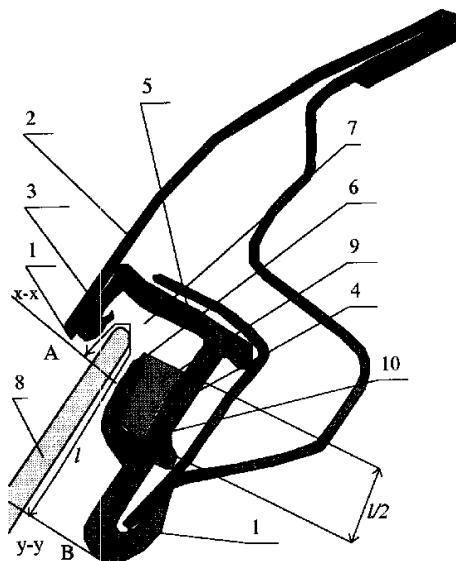


Рис. 9.37. Поперечное сечение уплотнительного узла подвижного стекла транспортного средства с интегрированным четвертьволновым резонатором:

1 – кромка полой рамки двери; 2 – полая рамка двери; 3 – наружная стенка упругого элемента; 4 – внутренняя стенка упругого элемента; 5 – донная перемычка упругого элемента; 6 – упругий выступ внутренней стенки 4; 7 – внутренний паз; 8 – подвижное стекло; 9 – полое тупиковое углубление, образующее четвертьволновый резонатор (может быть заполнено пористым звукопоглощающим веществом); 10 – жесткий звукоотражающий элемент; А, В – точки, образованные пересечением стекла плоскостями X-X и Y-Y, перпендикулярными плоскости стекла и проведенными через крайние точки; 1 – длина канала передачи звука

**Патент РФ на изобретение RU 2209336**  
**«Двигатель внутреннего сгорания (ДВС)»**

Авторы: Фесина М.И.,  
 Соколов А.В., Лысенко Е.В.

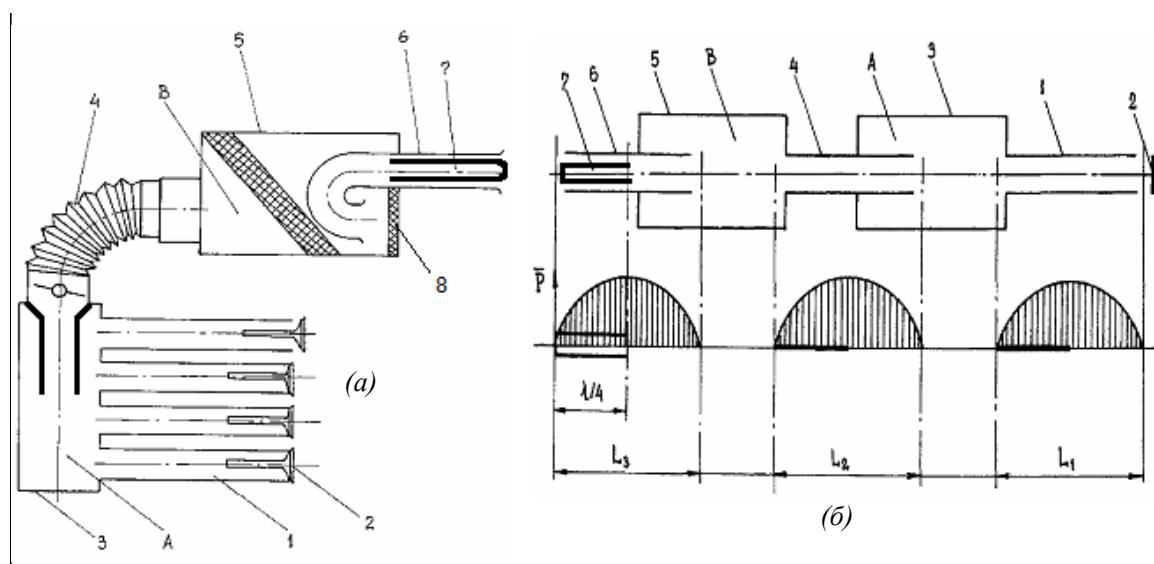


Рис. 9.38. Схема конструктивного исполнения (а) и принципиальная схема (б) тракта системы впуска ДВС:

1 – впускные патрубки; 2 – впускные клапаны; 3 – ресивер; 4 – промежуточная труба; 5 – воздухоочиститель; 6 – воздухозаборный патрубок; 7 – четвертьволновой акустический резонатор; 8 – звукопоглощающая панель (футеровка внутренней полости камеры воздухоочистителя); А – полость ресивера; В – полость воздухоочистителя; L1 – динамическая длина впускного патрубка; L2 – динамическая длина промежуточной трубы; L3 – динамическая длина воздухозаборного патрубка

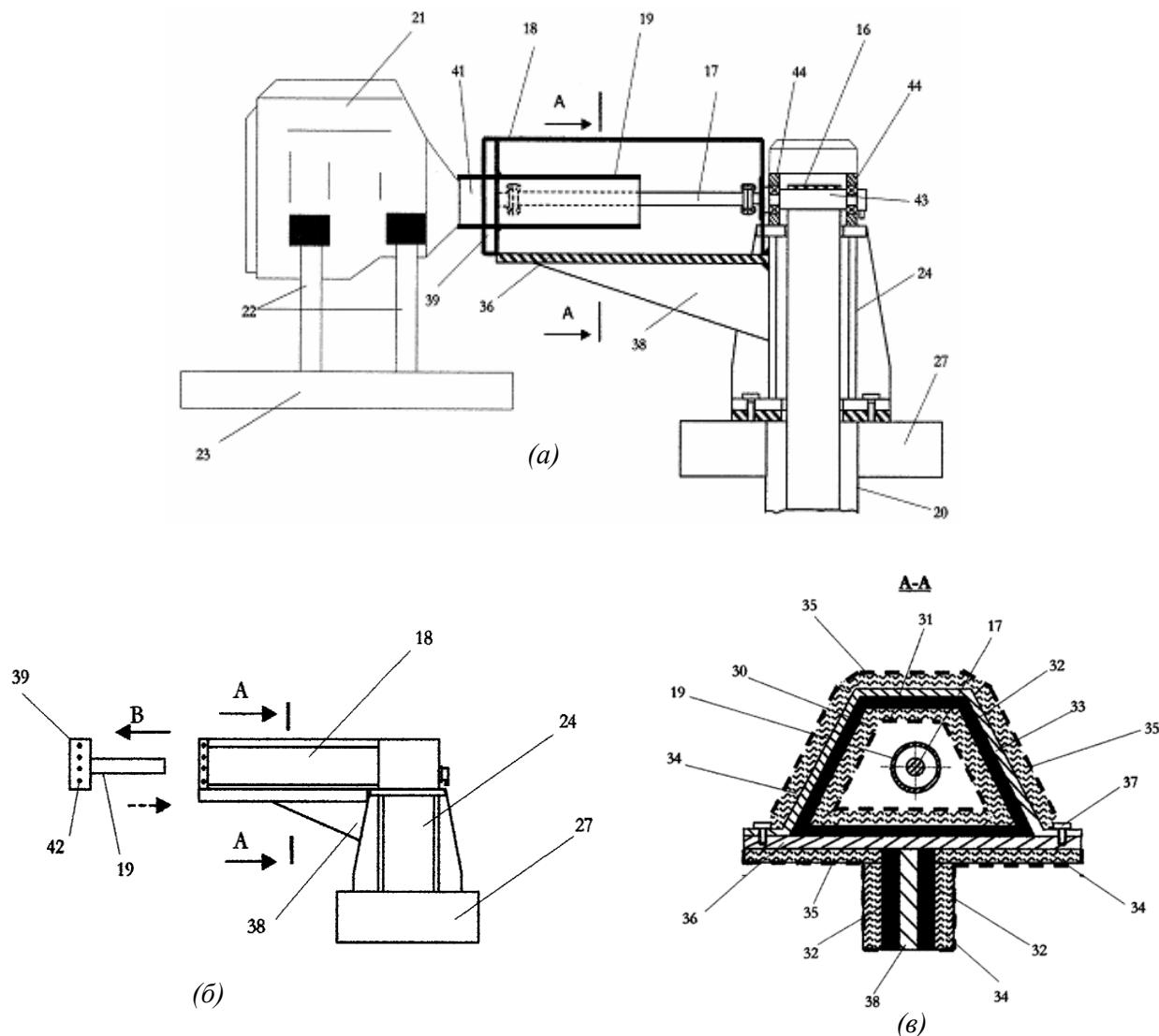


Рис. 9.39. Фрагменты конструкции узлов низкошумного исследовательского моторного стенда (а, б, в):

16 – приводной ремень; 17 – приводной вал; 18 – защитный шумоизолирующий кожух приводного вала; 19 – интегрированный в кожух четвертьволновый акустический резонатор; 20 – защитный кожух приводного ремня; 21 – ДВС; 22 – вертикальные стойки системы крепления; 23 – продольные балки системы крепления; 24 – корпус верхнего опорного подшипникового узла; 27 – рама несущего силового каркаса; 30 – внутренний слой пористого звукопоглощающего материала; 31, 35 – защитный звукопрозрачный газовлагонепроницаемый слой; 32 – слой вибродемпфирующего материала; 33 – несущая металлическая оболочка; 34 – внешний слой пористого звукопоглощающего материала; 36 – опорное металлическое основание; 37 – крепежные винты; 38 – опорный кронштейн; 39 – крышка; 41 – корпус задней подшипниковой опоры; 42 – резьбовые отверстия; 43 – вал; 44 – опорные подшипники

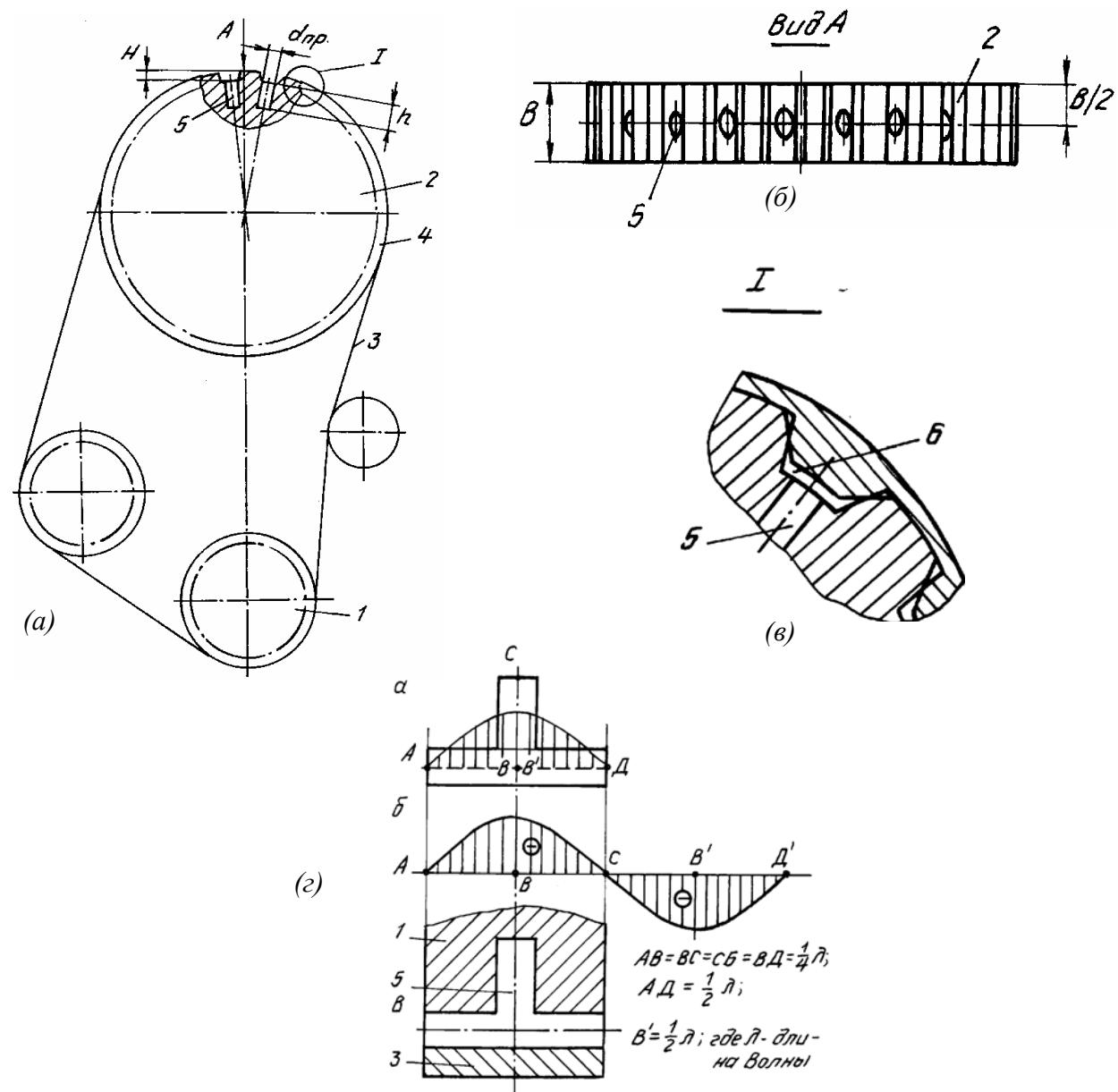


Рис. 9.40. Схемы общего вида (а) и отдельных элементов (б, в) зубчато-ременного привода вспомогательных агрегатов ДВС, в котором образовано семейство четвертьволновых резонаторов, эпюра распределения звукового давления объема воздуха, заключенного в объеме канала впадин зуба и четвертьволнового резонатора (г):  
 1 – ведущий шкив; 2 – ведомый шкив; 3 – зубчатый ремень; 4 – зубчатые венцы; 5 – глухие (тупиковые) отверстия, формирующие четвертьволновые резонаторы; 6 – межзубные каналы

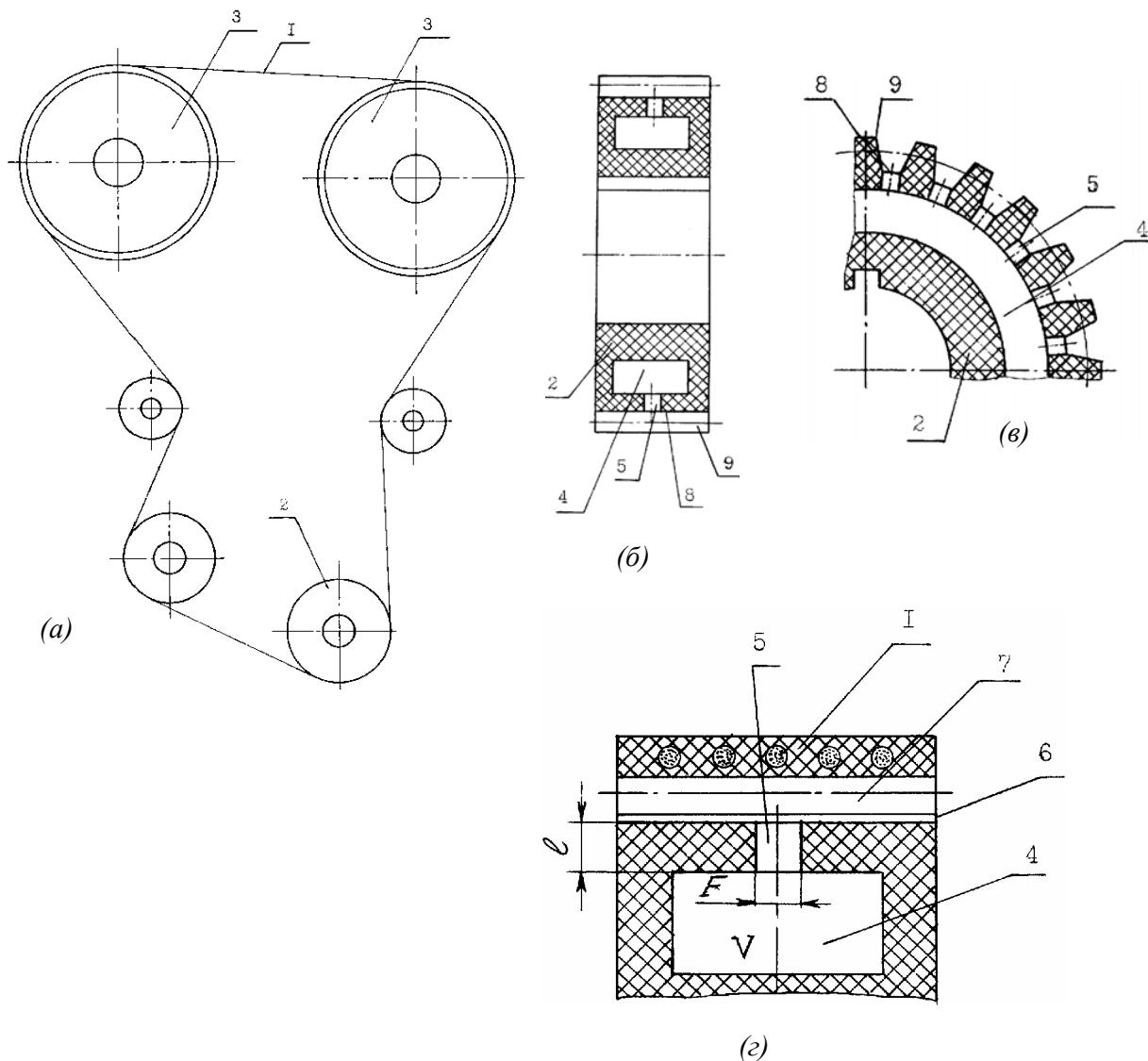


Рис. 9.41. Схемы зубчато-ременного привода механизмов ДВС (а),  
 сечения зубчатого колеса (шкива), в котором образован резонатор Гельмгольца (б, в),  
 фрагмента привода в варианте охвата зуба колеса зубом ремня (г):  
 1 – зубчатый ремень; 2 – ведущий зубчатый шкив; 3 – два ведомых зубчатых шкива;  
 4 – объем резонатора Гельмгольца, образованный замкнутой кольцевой полостью; 5 – горло  
 резонатора; 6 – зазор; 7 – вершина зуба 1; 8 – впадина в зубьях шкива 2 или 3

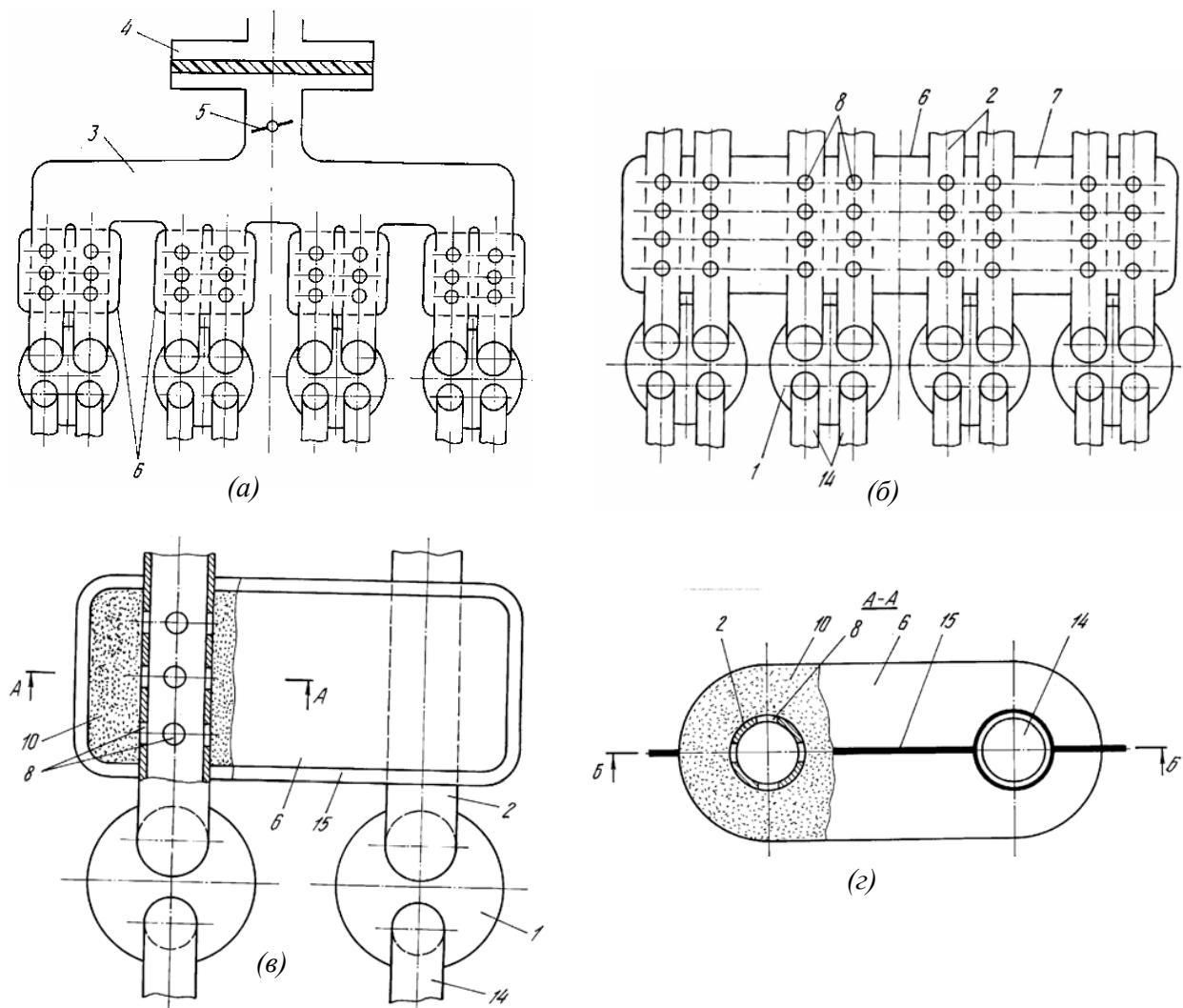


Рис. 9.42. Схемы отдельных фрагментов четырехцилиндрового ДВС в вариантах с объединенными впускными трубами с использованием индивидуальных кожухов-резонаторов (а) и общего кожуха-резонатора (б), схема выхлопных трубопроводов (в, г):  
 1 – головка блока цилиндров; 2 – впускные трубы; 3 – общий трубопровод; 4 – воздухоочиститель;  
 5 – воздушная заслонка; 6 – кожух-резонатор; 7 – полость впускных труб; 8 – сквозные отверстия;  
 10 – пористый звукопоглощающий воздухоподуваемый материал; 14 – выхлопные трубопроводы

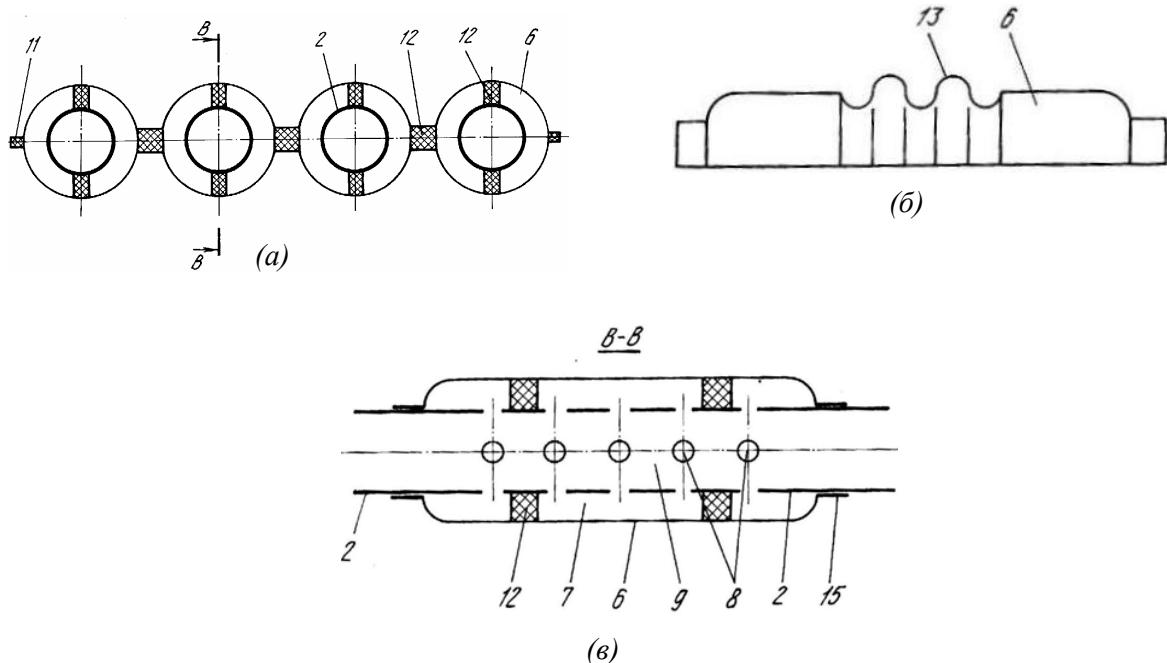


Рис. 9.43. Схемы кожухов впускных труб ДВС в варианте сильфонного исполнения (а) и в варианте его оснащения термокомпенсатором (б), сечения шумопонижающего устройства (типа резонаторной камеры), интегрированного во впускные трубы ДВС (в):

2 – впускные трубы; 6 – кожух-резонатор; 7, 9 – полость впускных труб; 8 – сквозные отверстия; 11 – термо-виброизолирующие элементы; 12 – виброкомпенсаторы; 13 – термокомпенсатор

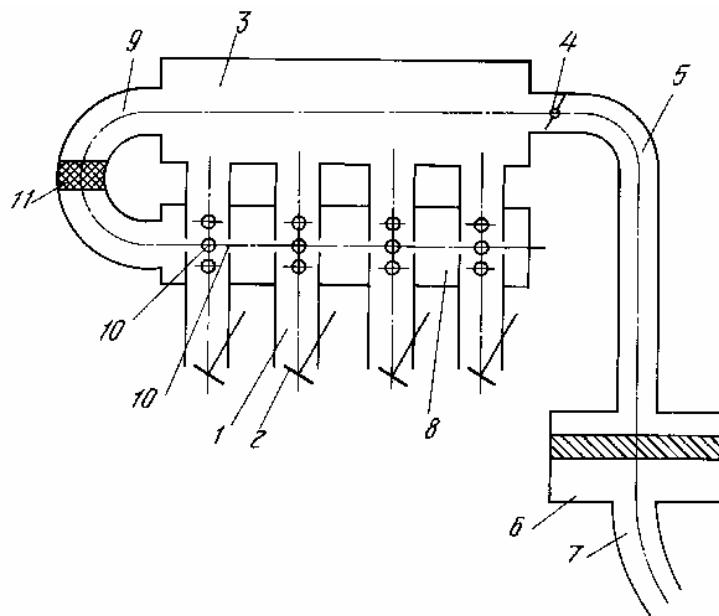


Рис. 9.44. Схема системы впуска ДВС:  
 1 – впускные трубы; 2 – впускные клапаны; 3 – ресивер; 4 – воздушная заслонка; 5 – впускной трубопровод; 6 – воздухоочиститель; 7 – воздухозаборный патрубок; 8 – кожух-резонатор; 9 – трубопровод; 10 – отверстия; 11 – заглушка из газопроницаемого звукопоглощающего материала, например, пористого сетчатого материала (ПСМ) или метало-резины (МР)

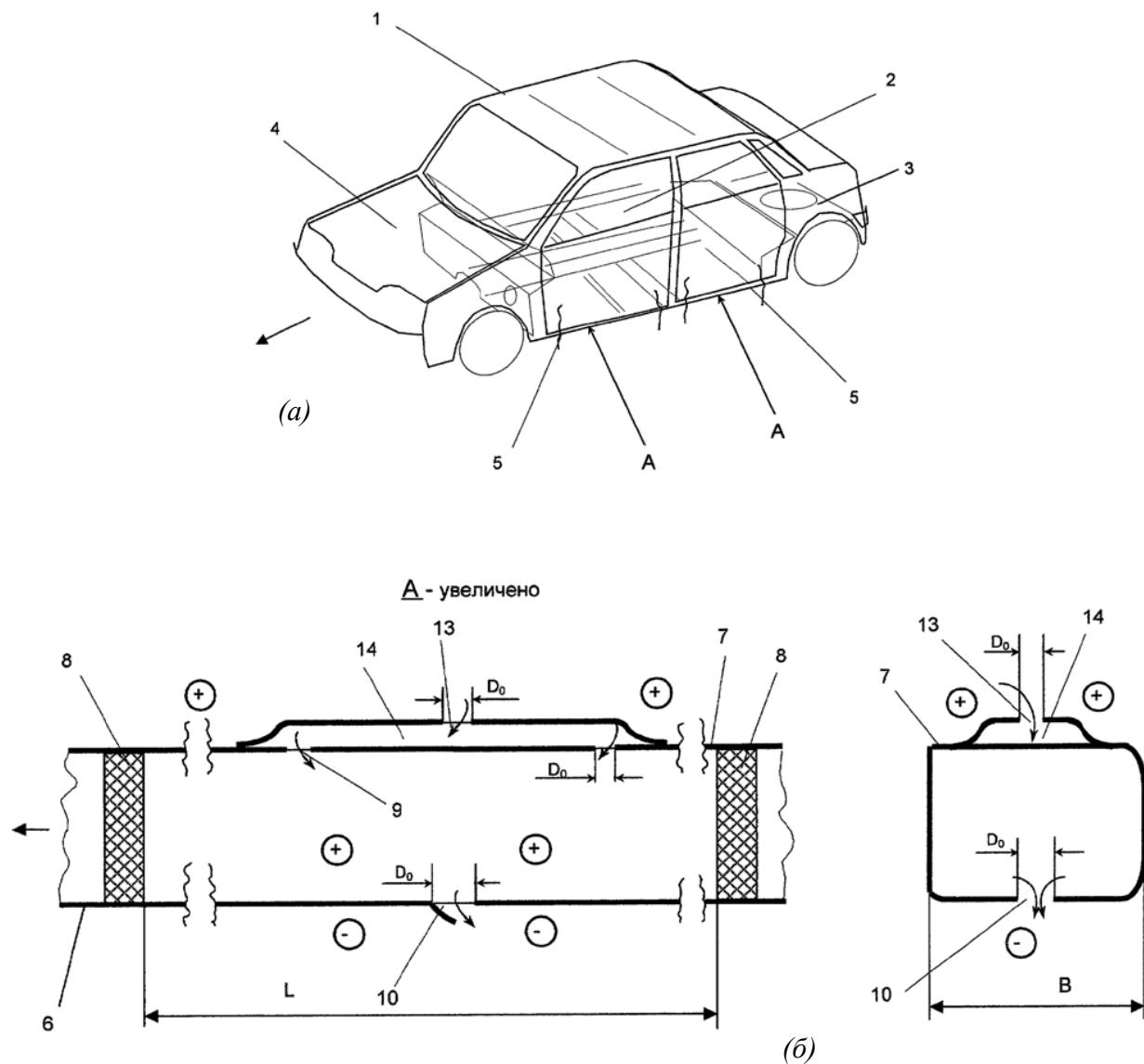


Рис. 9.45. Общий вид легкового автомобиля, содержащего силовой каркас кузова, в коробчатых элементах которого применены термоакустические пробки (а), и сечения полого участка пустотелого силового элемента каркаса кузова (б):  
1 – кузов легкового автомобиля; 2 – пассажирское помещение; 3 – багажное отделение; 4 – моторный отсек; 5 – сечение коробчатого пустотелого силового элемента порога кузова; 6 – нижняя внешняя стенка порога кузова; 7 – верхняя внутренняя стенка порога кузова; 8 – термоакустическая пробка; 9 – перепускное отверстие порога кузова; 10 – дренажное отверстие порога кузова, образующего эжектирующий канал; 13 – верхнее отверстие перепускного воздушного канала; 14 – перепускной воздушный канал в виде трубчатого элемента

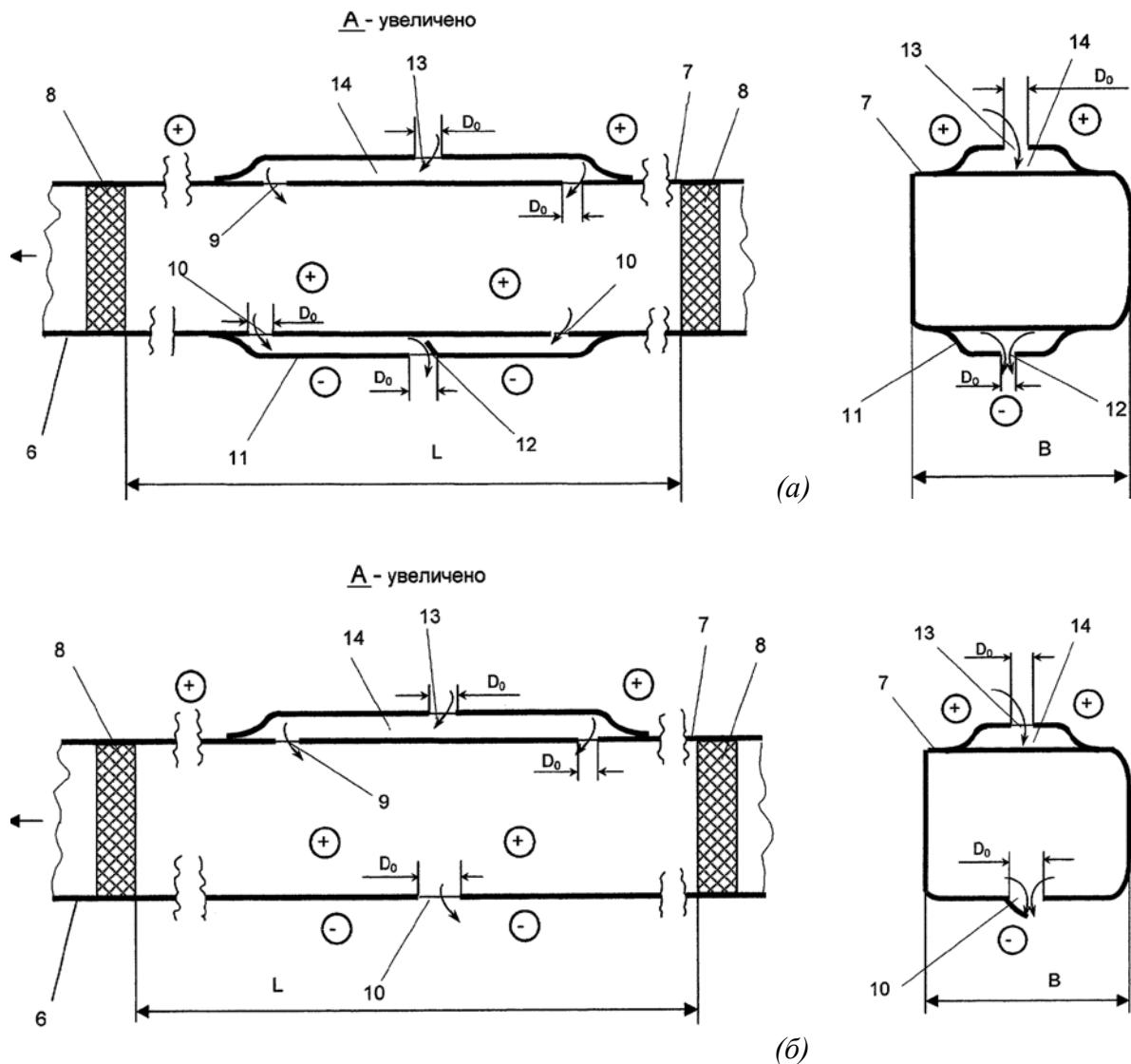


Рис. 9.46. Схемы сечений полого участка пустотелого силового элемента каркаса кузова (а, б):

6 – нижняя внешняя стенка порога кузова; 7 – верхняя внутренняя стенка порога кузова;  
 8 – термоакустическая пробка; 10 – дренажное отверстие порога кузова, образующего эжектирующий канал;  
 11 – дренажный эжектирующий канал в виде трубчатого элемента; 12 – внешнее отверстие дренажного эжектирующего канала; 13 – верхнее отверстие перепускного воздушного канала;  
 14 – перепускной воздушный канал в виде трубчатого элемента

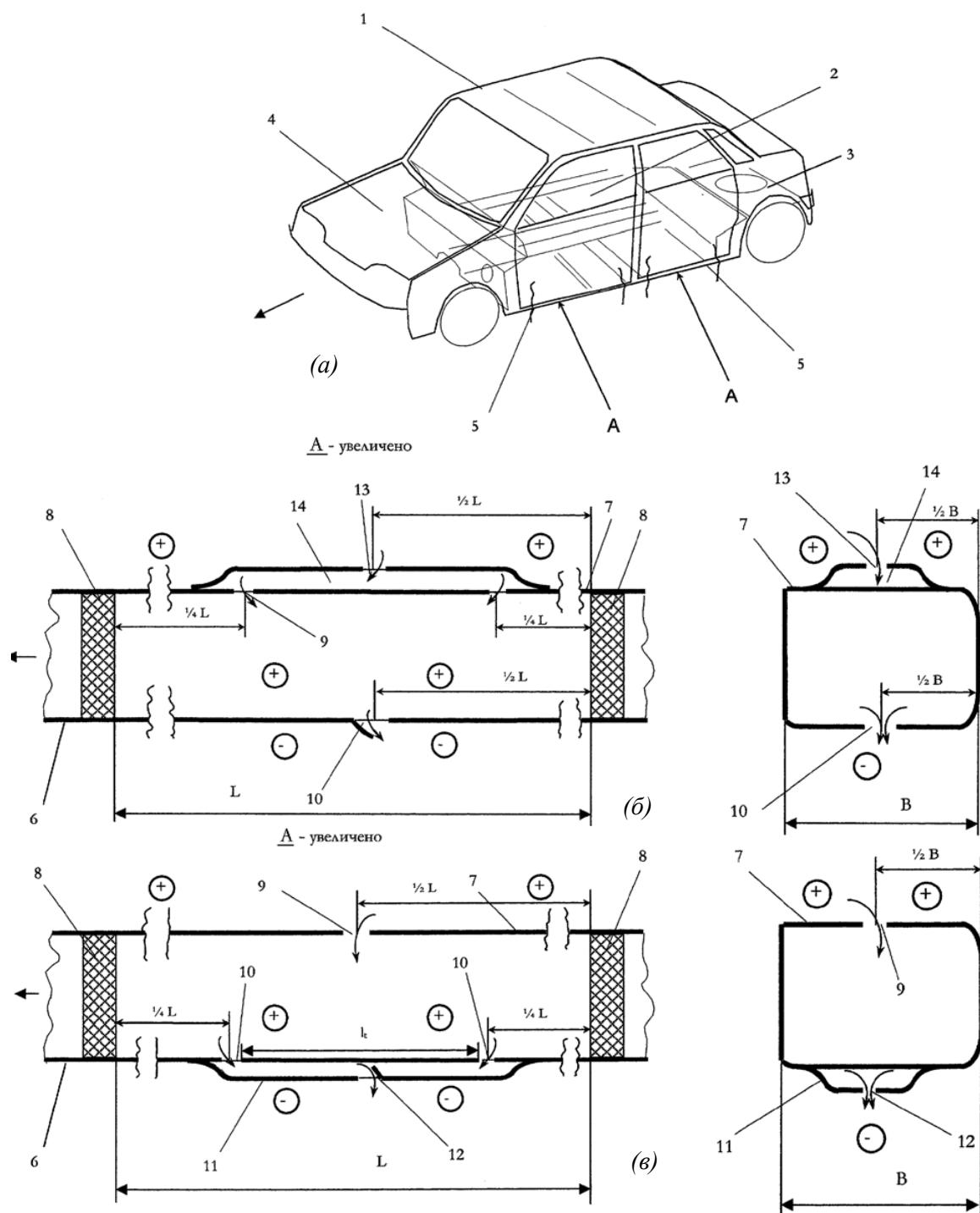


Рис. 9.47. Общий вид легкового автомобиля, содержащего силовой каркас кузова, в коробчатых элементах которого применены термоакустические пробки (а), и сечения полого участка пустотелого силового элемента каркаса кузова (б, в):

- 1 – кузов легкового автомобиля; 2 – пассажирское помещение; 3 – багажное отделение;
- 4 – моторный отсек; 5 – сечение коробчатого пустотелого силового элемента порога кузова;
- 6 – нижняя внешняя стенка порога кузова; 7 – верхняя внутренняя стенка порога кузова;
- 8 – термоакустическая пробка; 10 – дренажное отверстие порога кузова, образующего эжектирующий канал;
- 11 – дренажный эжектирующий канал в виде трубчатого элемента;
- 12 – внешнее отверстие дренажного эжектирующего канала;
- 13 – верхнее отверстие перепускного воздушного канала;
- 14 – перепускной воздушный канал в виде трубчатого элемента

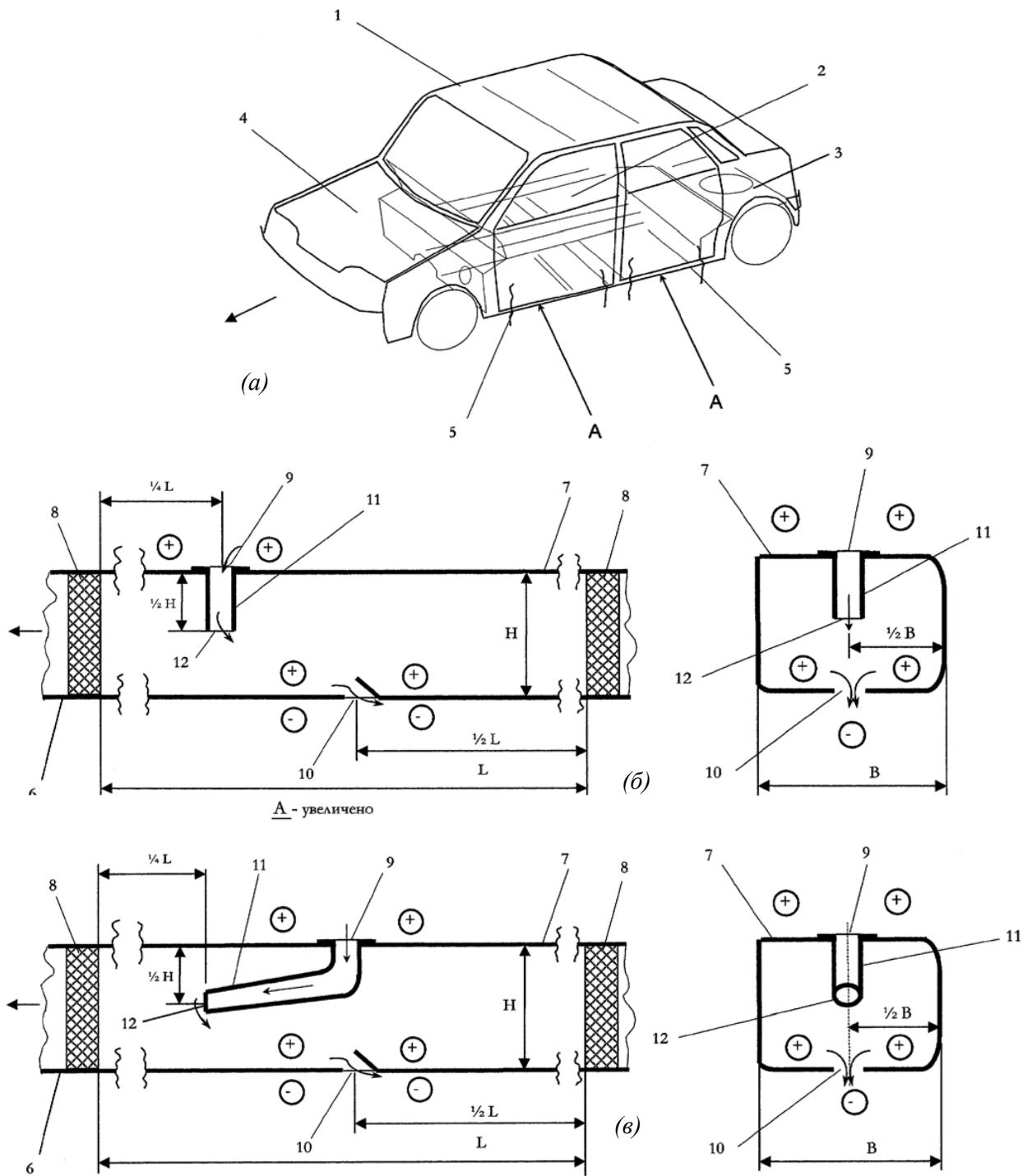


Рис. 9.48. Общий вид легкового автомобиля, содержащего силовой каркас кузова, в коробчатых элементах которого применены термоакустические пробки (а), и сечения полого участка пустотелого силового элемента каркаса кузова (б, в):

- 1 – кузов легкового автомобиля; 2 – пассажирское помещение; 3 – багажное отделение;
- 4 – моторный отсек; 5 – сечение коробчатого пустотелого силового элемента порога кузова;
- 6 – нижняя внешняя стенка порога кузова; 7 – верхняя внутренняя стенка порога кузова;
- 8 – термоакустическая пробка; 10 – дренажное отверстие порога кузова, образующего эжектирующий канал; 11 – дренажный эжектирующий канал в виде трубчатого элемента; 12 – внешнее отверстие дренажного эжектирующего канала; 13 – верхнее отверстие перепускного воздушного канала;
- 14 – перепускной воздушный канал в виде трубчатого элемента

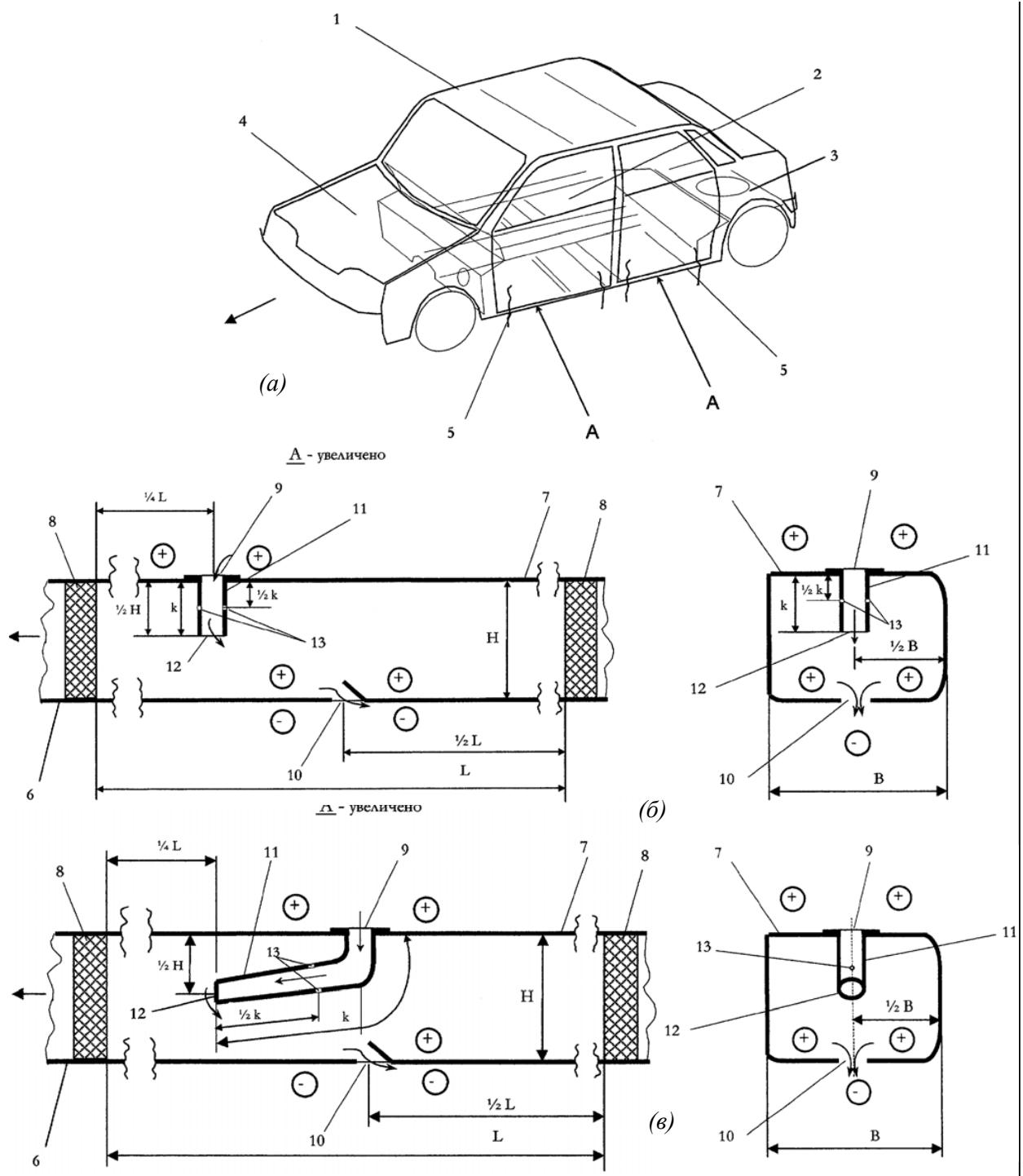


Рис. 9.49. Общий вид легкового автомобиля, содержащего силовой каркас кузова, в коробчатых элементах которого применены термоакустические пробки (а), и сечения полого участка пустотелого силового элемента каркаса кузова (б, в):

1 – кузов легкового автомобиля; 2 – пассажирское помещение; 3 – багажное отделение; 4 – моторный отсек; 5 – сечение коробчатого пустотелого силового элемента порога кузова; 6 – нижняя внешняя стенка порога кузова; 7 – верхняя внутренняя стенка порога кузова; 8 – термоакустическая пробка;

10 – дренажное отверстие порога кузова, образующего эжектирующий канал;

11 – дренажный эжектирующий канал в виде трубчатого элемента; 12 – внешнее отверстие дренажного эжектирующего канала; 13 – верхнее отверстие перепускного воздушного канала;

14 – перепускной воздушный канал в виде трубчатого элемента

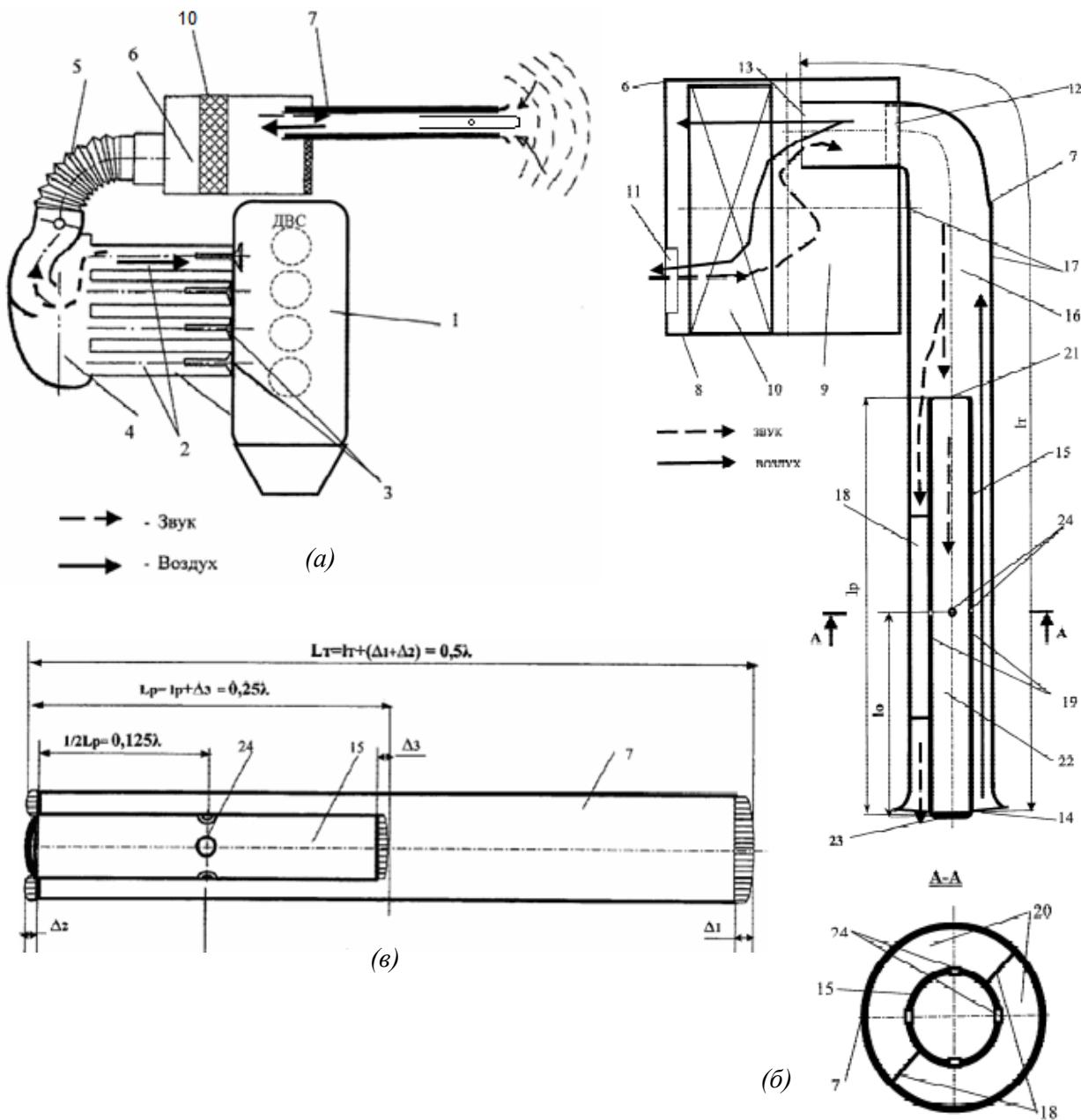


Рис. 9.50. Схемы ДВС в сборе с системой впуска (а), воздухоочистителя (б) и продольного сечения воздухозаборного патрубка в сборе с четвертьволновым резонатором (в):  
 1 – ДВС; 2 – впускные трубы; 3 – устройство распределения топливовоздушной смеси; 4 – ресивер;  
 5 – магистральная соединительная труба; 6 – воздухоочиститель; 7 – воздухозаборный патрубок;  
 8 – полый корпус воздухоочистителя; 9 – полость; 10 – фильтрующий элемент; 11 – выпускное  
 отверстие; 12 – впусное отверстие; 13, 14 – открытый срез воздухозаборного патрубка;  
 15 – четвертьволновый резонатор; 16 – полость воздухозаборного патрубка; 17 – стенки  
 воздухозаборного патрубка; 18 – распорные плоские ребра; 19 – стенки резонаторного патрубка;  
 20 – щелевые воздушные зазоры; 21 – открытый срез четвертьволнового резонатора; 22 – полость  
 четвертьволнового резонатора; 23 – глухое дно; 24 – сквозные демпфирующие отверстия

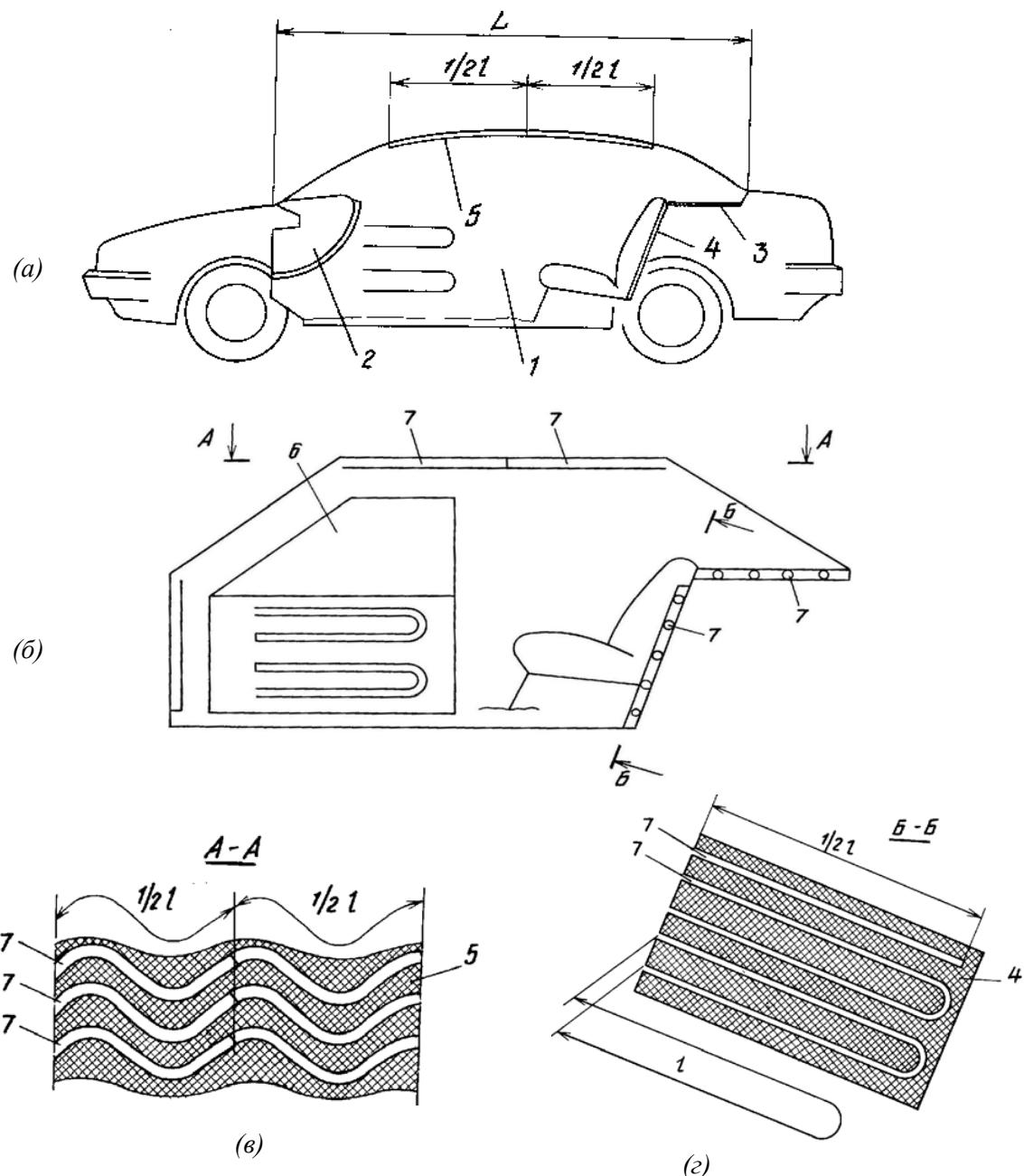


Рис. 9.51. Схема легкового автомобиля (а), пассажирского помещения (б) и сечений структур панели крыши (в) и панели спинки заднего сидения (г):  
 1 – воздушный объем пассажирского помещения; 2 – панель приборов; 3 – полка багажника;  
 4 – спинка заднего сидения; 5 – обивка крыши; 6 – боковая дверь; 7 – трубчатые каналы (резонаторные полости);  $L$  – длина пассажирского помещения;  $l$  – длина трубчатого канала

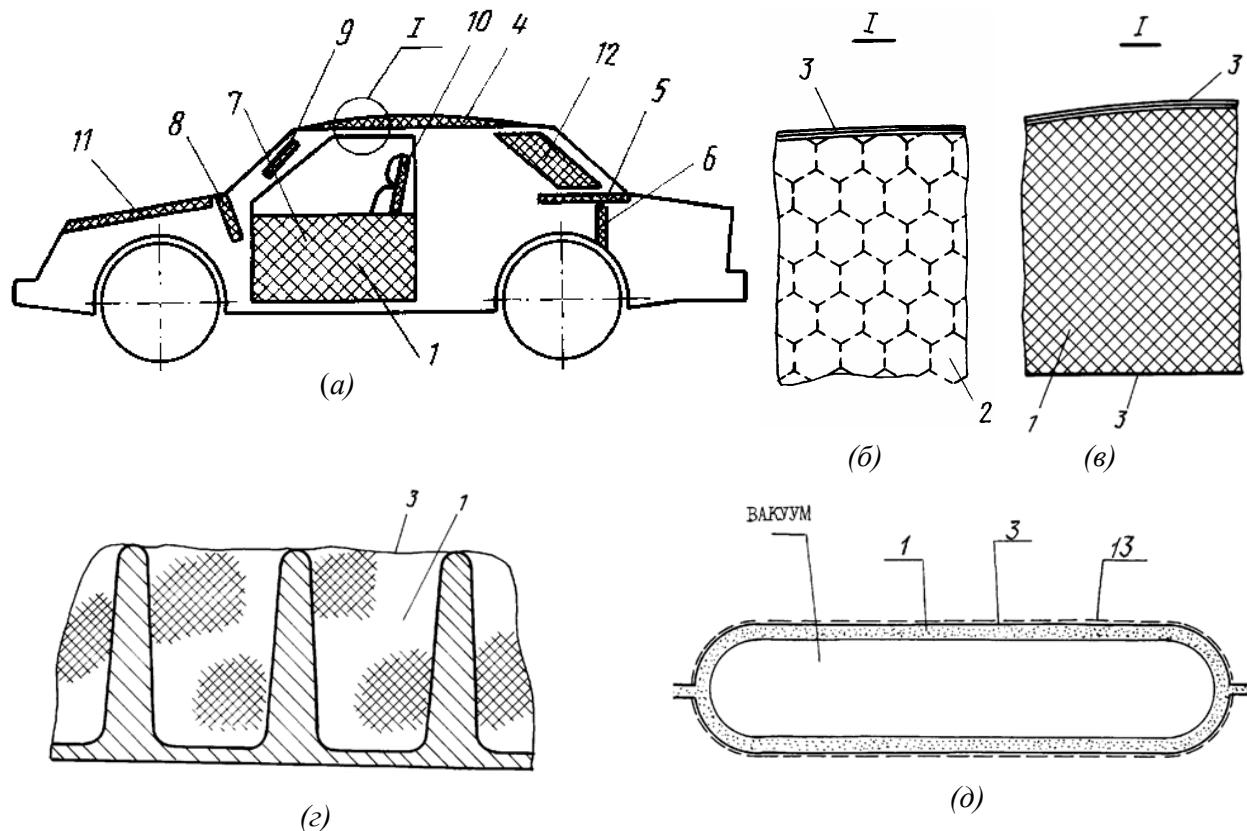


Рис. 9.52. Схема легкового автомобиля со смонтированными в его пассажирском помещении деталями интерьера, выполненными в виде пористых звукопоглощающих вакуумированных конструкций (а), возможные варианты структур вакуумированного звукопоглощающего материала (б, в), схема вакуумированной звукопоглощающей структуры детали интерьера (г), вариант несущей структуры детали интерьера, способный воспринимать статические нагрузки (д):

1 – слой пористого звукопоглощающего материала (вспененного открытоячеистого или волокнистого); 2 – открытые поры звукопоглощающего материала; 3 – воздухонепроницаемая звукопрозрачная пленка; 4 – обивка крыши; 5 – полка багажника; 6 – панель, разделяющая багажник от пассажирского помещения; 7 – обивка двери; 8 – панель приборов; 9 – солнцезащитный козырек; 10 – задняя часть спинки переднего сиденья; 11 – обивка капота; 12 – обивка боковой стойки кузова; 13 – несущая перфорированная обечайка

Патент РФ на изобретение RU 2115006  
«Масляный поддон двигателя внутреннего  
сгорания (ДВС)»

Авторы: Фесина М.И.,  
Соколов А.В., Матяев А.С.

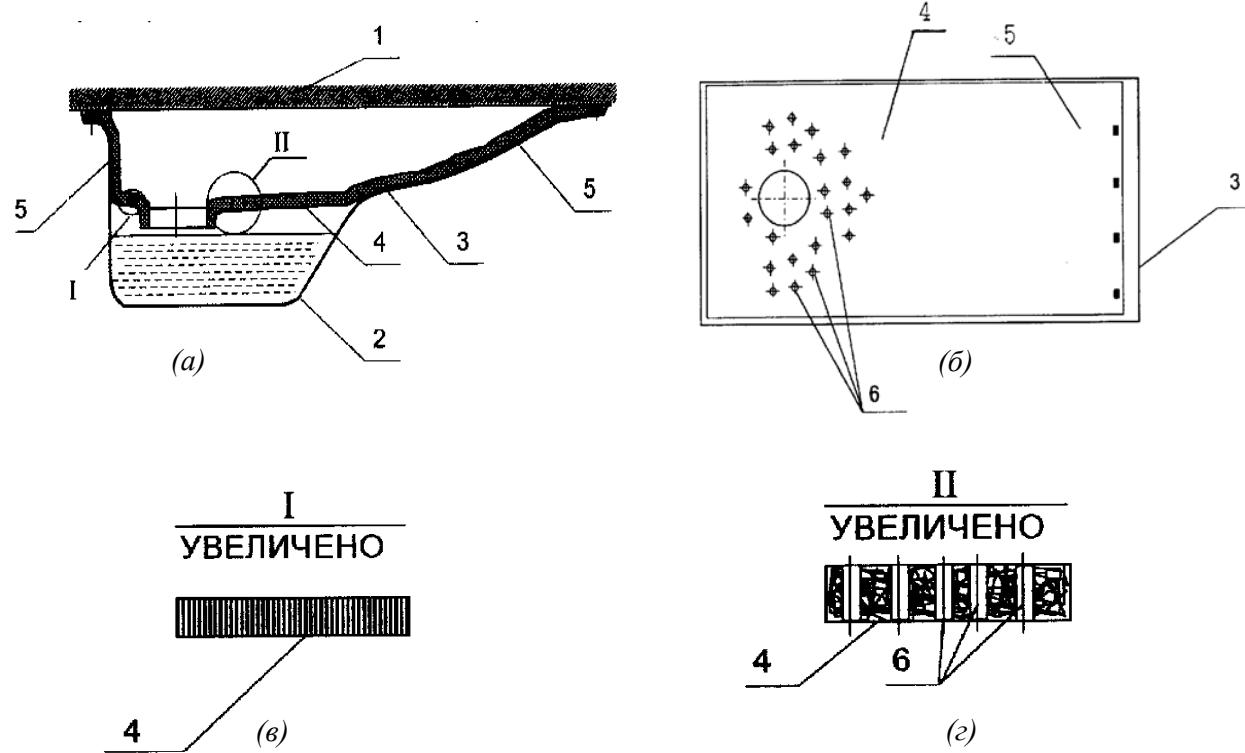


Рис. 9.53. Схема масляного поддона (а), вид сверху на успокоитель (б),  
фрагмент сечения успокоителя (в, г):

1 – плоскость разъема блок-картера; 2 – донная часть масляного поддона;  
3 – присоединительная часть масляного поддона; 4 – пластинчатый успокоитель из пористого  
звукогасящего материала ПСМ (пористого сетчатого материала); 5 – футерованная ПСМ  
присоединительная часть масляного поддона; 6 – сквозные отверстия перфорации в структуре ПСМ

Патент РФ на изобретение RU 2134356  
 «Многоцилиндровый двигатель  
 внутреннего сгорания (ДВС)»

Авторы: Фесина М.И.,  
 Соколов А.В., Проскурин В.А.

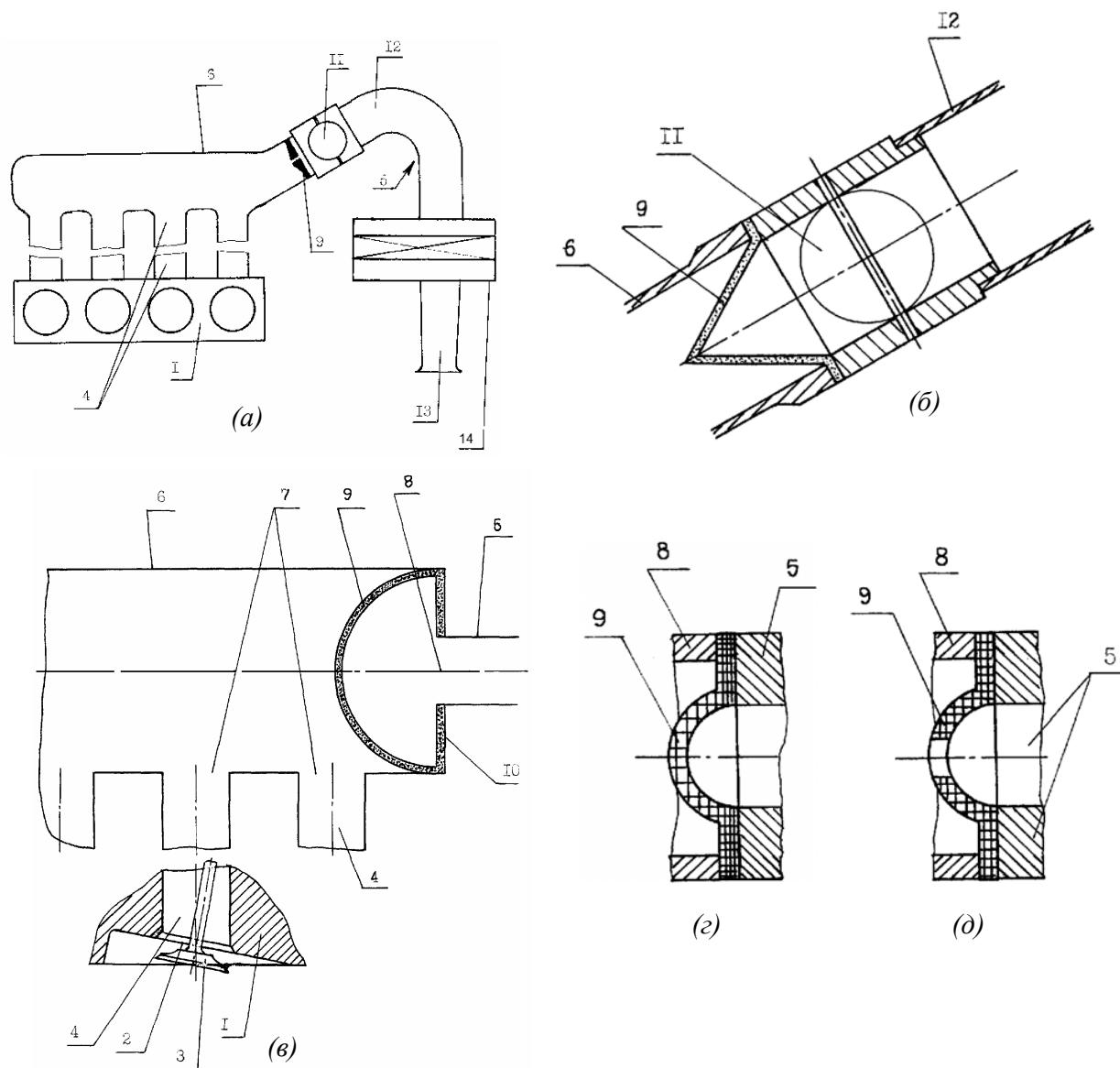


Рис. 9.54. Фрагмент тракта газовода системы впуска ДВС (а), соединение горловины ресивера с узлом очистки воздуха (б), фрагмент участка газовода от горловины ресивера (в которой установлена пористая газопродуваемая диафрагма) до впускного клапана ДВС (в), варианты соединения горловины ресивера с впускной трубой ДВС (г, д):  
 1 – головка блока цилиндров; 2 – впускные отверстия головки; 3 – впускной клапан;  
 4 – впускные патрубки; 5 – составные элементы подачи очищенного воздуха; 6 – газосборный ресивер; 7 – присоединительные отверстия патрубков 4; 8 – горловина ресивера 6;  
 9 – пористая газопродуваемая звукопоглощающая диафрагма; 10 – торцевая стенка корпуса ресивера 6; 11 – дроссельная заслонка; 12 – впускная труба;  
 13 – воздухозаборный патрубок; 14 – воздухоочиститель

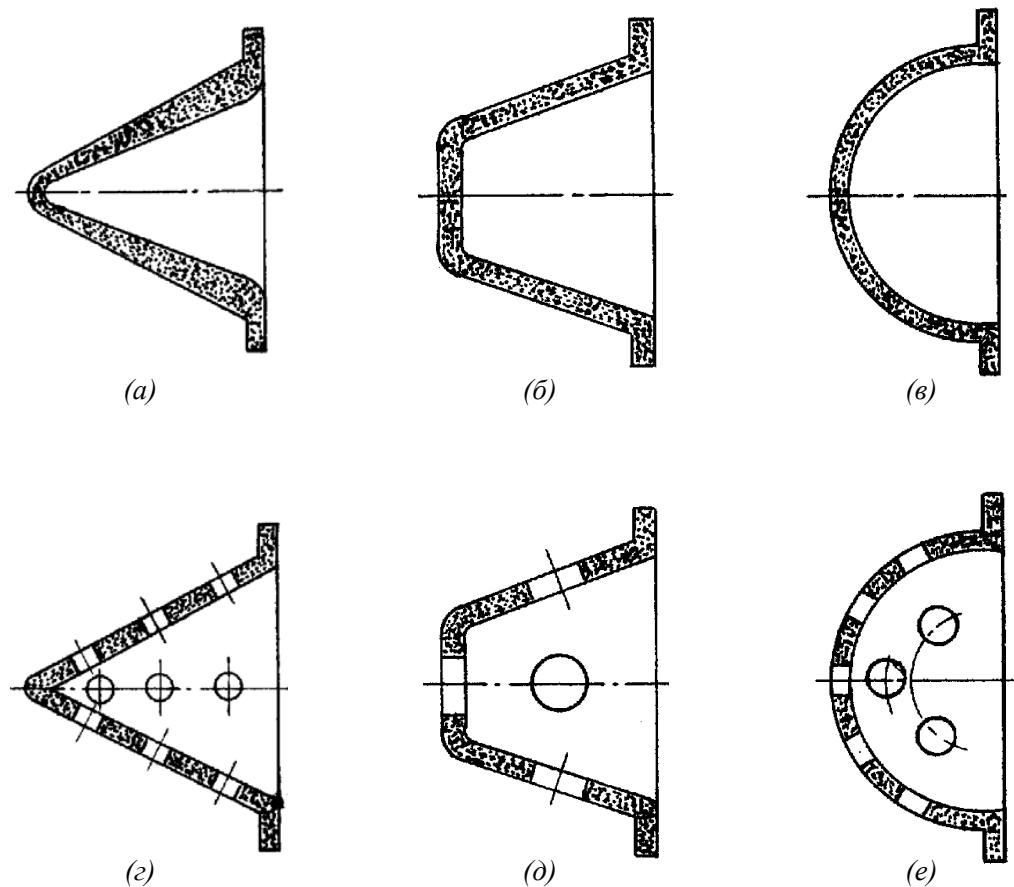


Рис. 9.55. Различные варианты конструктивного исполнения диафрагмы (а–е)  
газосборного ресивера из пористой звукопоглощающей газопродуваемой структуры  
типа прессованного сетчатого материала (PCM), металлорезины (МР)

**Патент РФ на изобретение RU 2126901**  
**«Привод газораспределительного механизма**  
**двигателя внутреннего сгорания (ДВС)»**

Авторы: Фесина М.И.,  
Соколов А.В.

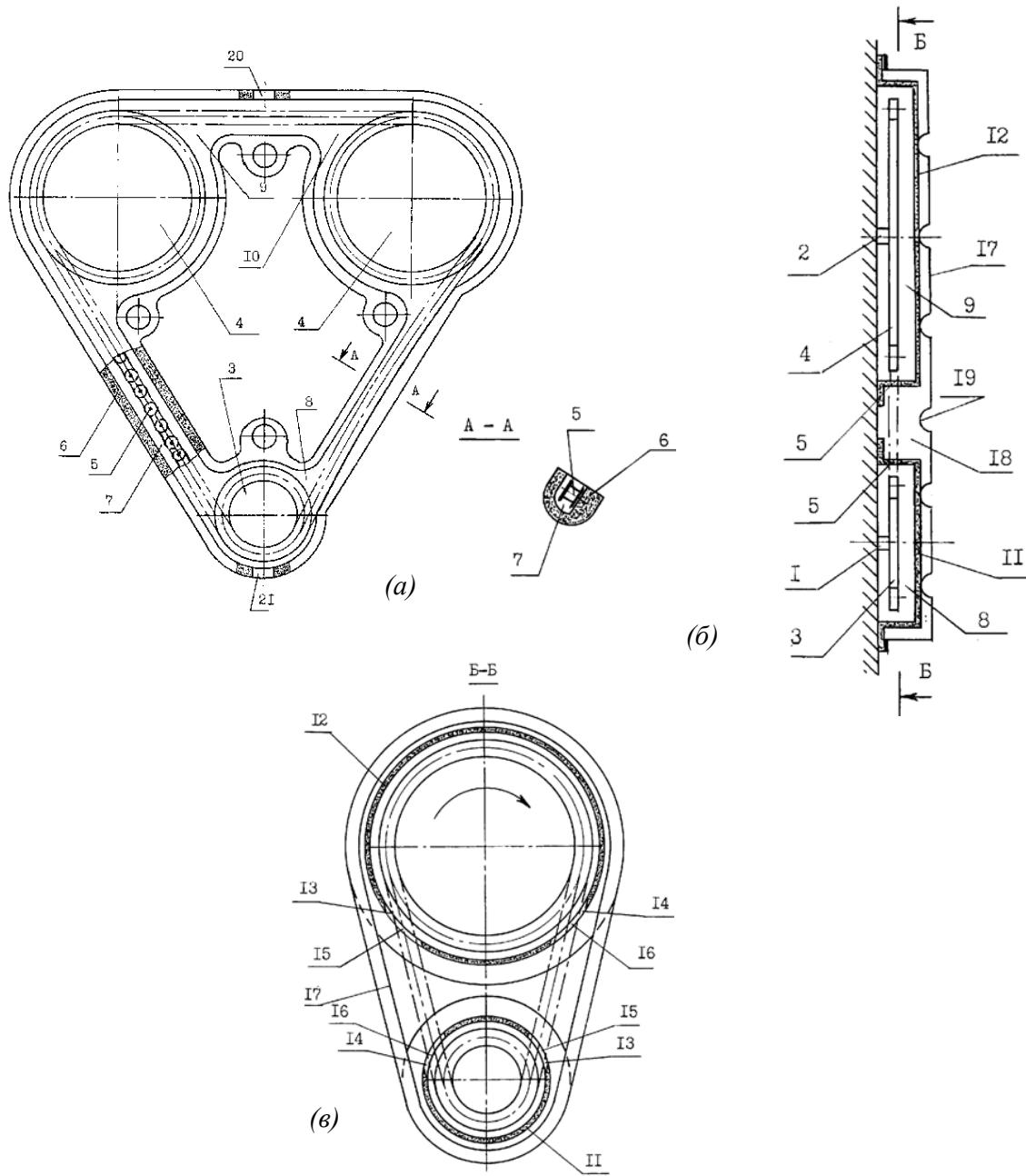


Рис. 9.56. Конструктивный вариант исполнения кожуха ГРМ (а), сечения составного варианта кожуха ГРМ в виде двух цилиндрических колпаков, охваченных внешней дополнительной оболочкой (б, в):

1 – ведущий (коленчатый) вал; 2 – ведомый (распределительный кулачковый) вал; 3, 4 – приводные звездочки коленчатого вала и распределительного кулачкового вала; 5 – цепь привода; 6 – шумоизолирующий кожух; 7 – тунNELи кожуха; 8–10 – расширительные полости; 11, 12 – цилиндрические колпаки звездочек 3 и 4; 13, 14 – вентиляционные окна колпаков 11 и 12; 15 – набегающая ветвь цепи привода 5; 16 – сбегающая ветвь цепи привода 5; 17 – дополнительная внешняя оболочка; 18 – локальная воздушная звукопоглощающая полость; 19 – ребра жесткости; 20 – отверстие для подвода масла внутрь кожуха 6; 21 – отверстие для отвода масла из полости кожуха 6.

*Структура материала кожуха ГРМ – пористый газопропускаемый звукопоглощающий материал типа прессованного сетчатого материала (ПСМ), металлорезины (МР)*

Патент РФ на изобретение RU 2126899  
 «Привод газораспределительного механизма  
 (ГРМ) двигателя внутреннего сгорания (ДВС)»

Авторы: Фесина М.И.,  
 Соколов А.В.

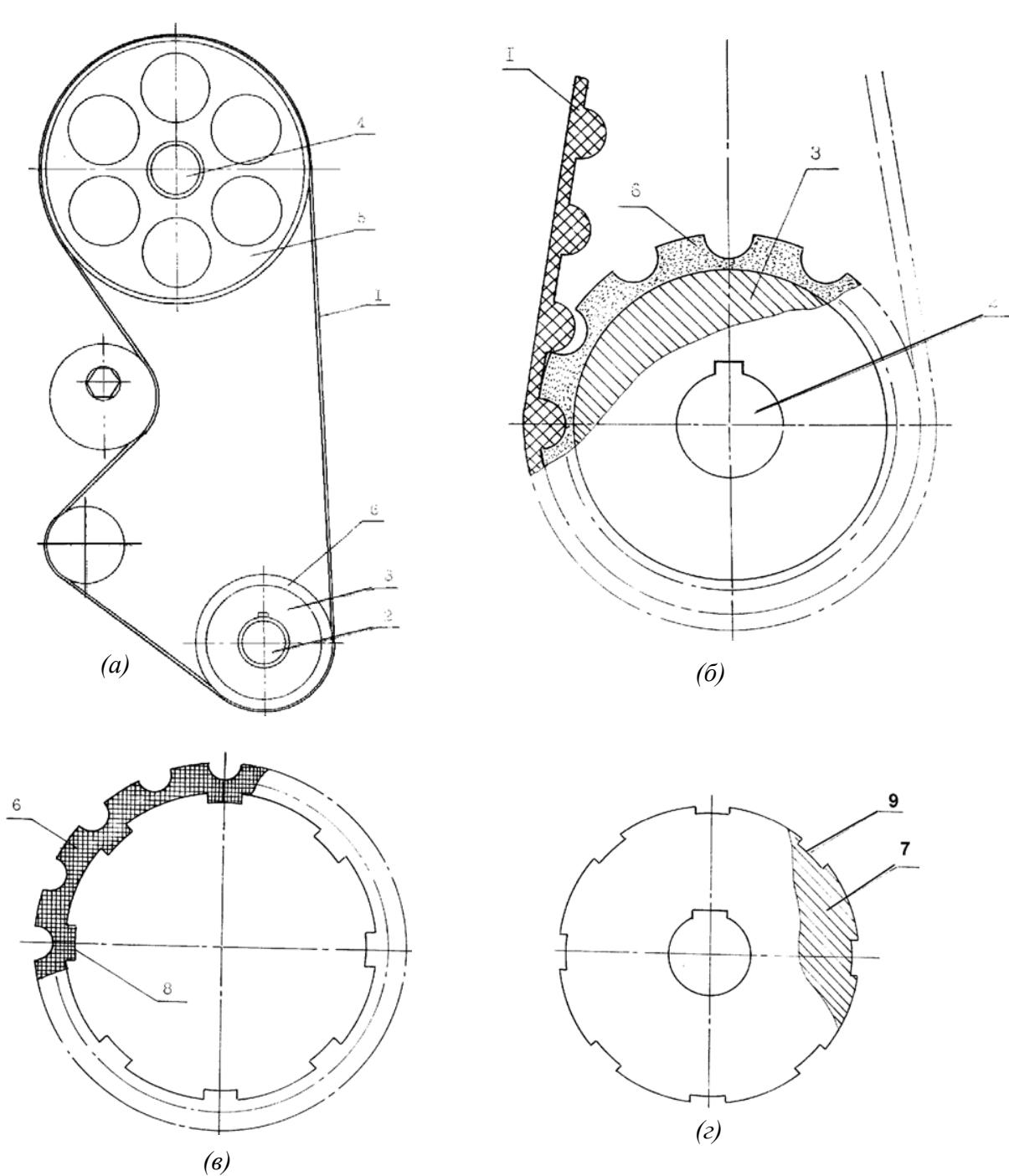


Рис. 9.57. Схема привода ГРМ ДВС (а, б), кольцевой элемент (в)  
 и обод колеса (г) в разобранном виде:

1 – зубчатый ремень; 2 – ведущий вал (коленвал); 3 – зубчатое колесо ведущего вала; 4 – ведомый вал (распределвал); 5 – зубчатое колесо ведомого вала; 6 – кольцевой элемент из газопроницаемого пористого звукопоглощающего металлического прессованного сетчатого материала (ПСМ); 7 – обод зубчатого колеса ведущего вала; 8 – фиксаторы в виде выступов; 9 – фиксаторы в виде пазов

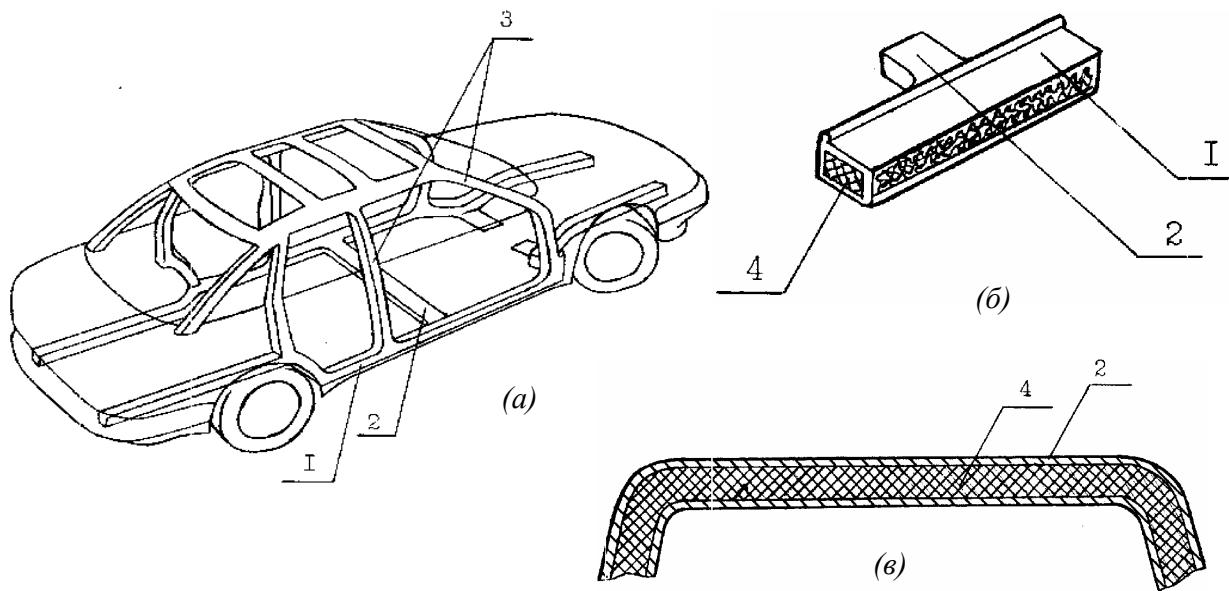


Рис. 9.58. Силовой каркас кузова легкового автомобиля (а),  
фрагмент соединения продольного лонжерона с поперечиной (б),  
сечение продольного силового элемента (в):

1, 2, 3 – полые коробчатые силовые элементы кузова: лонжероны (1), поперечины (2), стойки (3);  
4 – виброшумодемпфирующие брусья из пористого прессованного металлического сетчатого  
материала (ПСМ)

Патент РФ на изобретение RU 2102621  
«Двигатель внутреннего сгорания (ДВС)  
с воздушным охлаждением»

Авторы: Фесина М.И.,  
Соколов А.В.

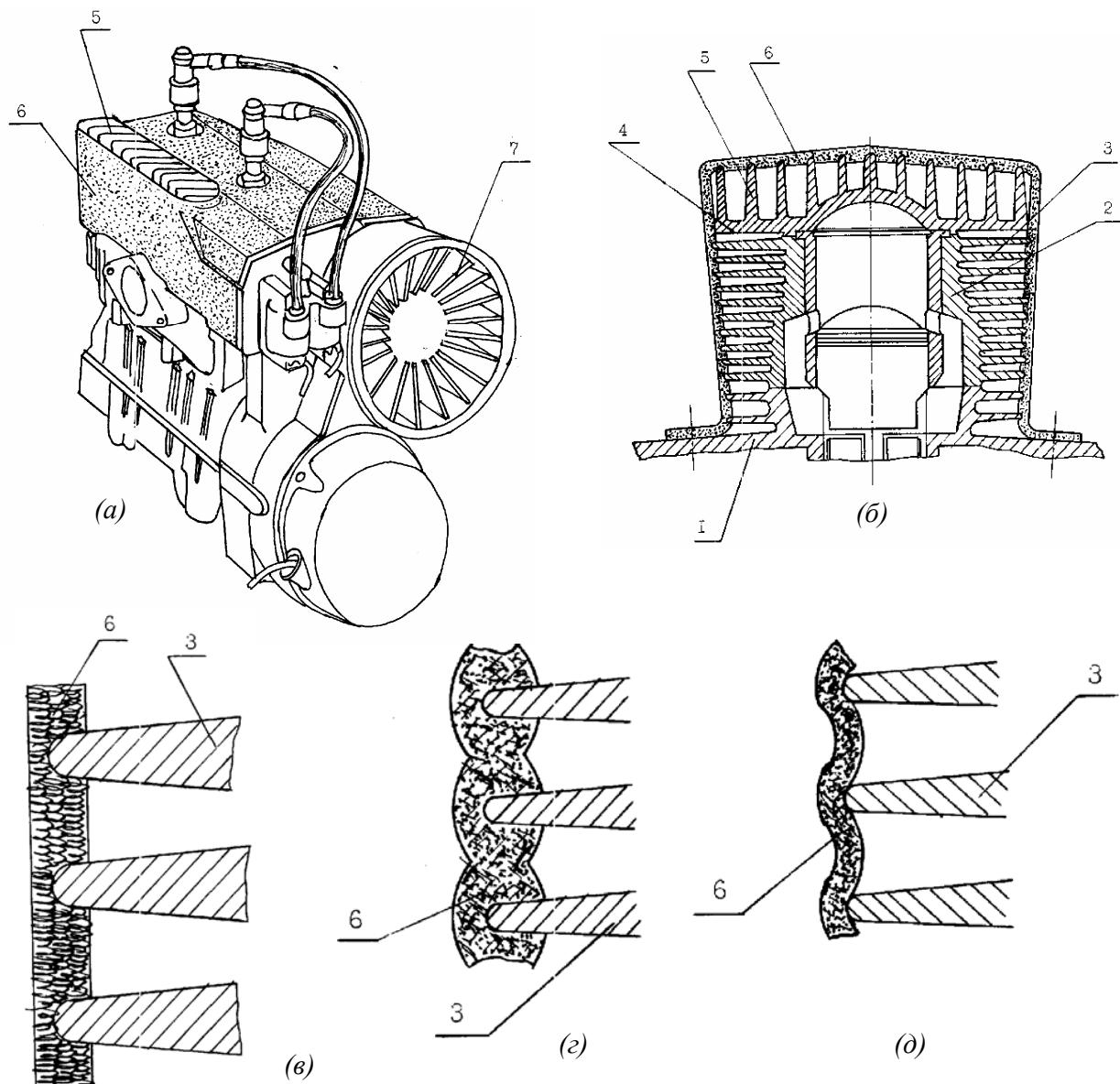


Рис. 9.59. ДВС с воздушным охлаждением, охваченный шумовибродемпфирующим кожухом (а, б), структура шумовибродемпфирующего кожуха, изготовленного из пористых шумовибродемпфирующих материалов ПСМ и МР (в, г, д):  
1 – картер; 2 – цилиндр с ребрами охлаждения 3; 4 – головка блока цилиндров с ребрами охлаждения 5; 6 – шумовибродемпфирующий кожух; 7 – крыльчатка вентилятора охлаждения;  
ПСМ – пористый сетчатый материал; МР – металлорезина (сойферит)

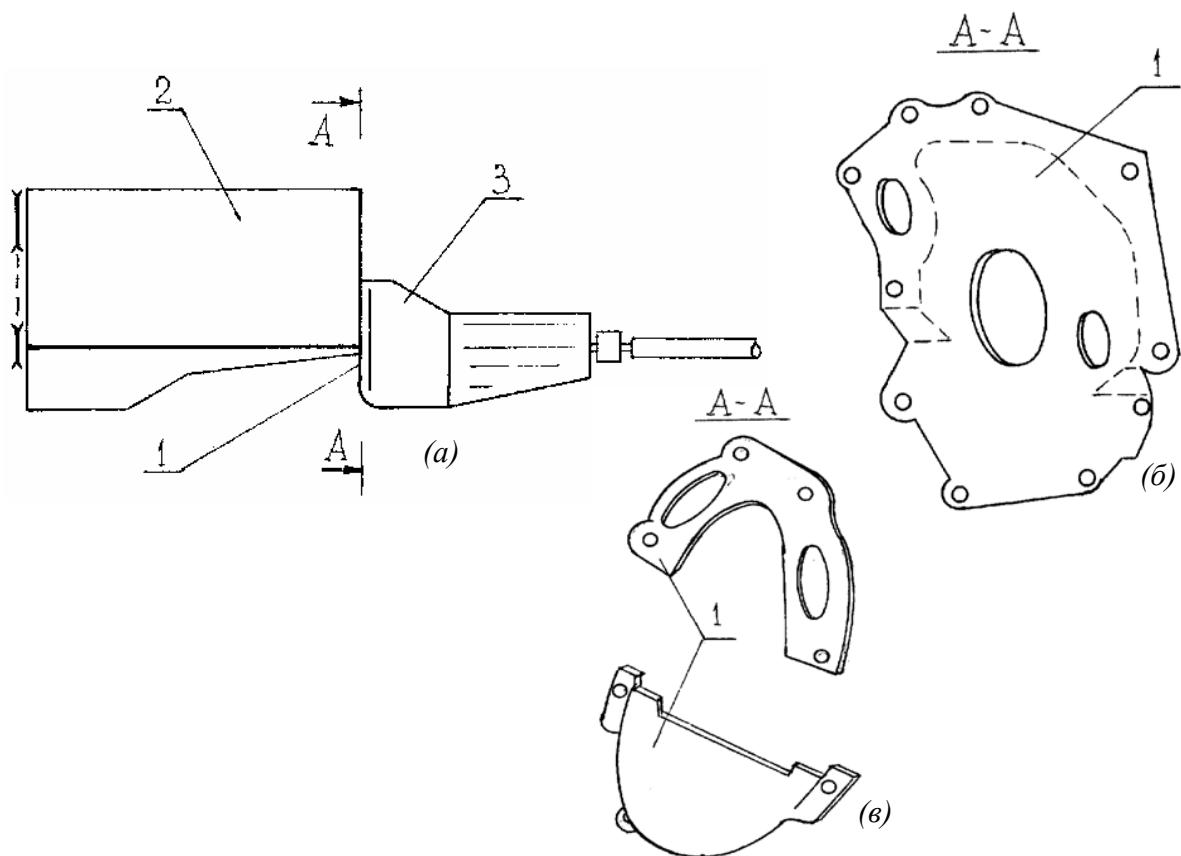


Рис. 9.60. Схема силового агрегата транспортного средства с установленным шумоизолирующим кожухом (а) и продольные осевые сечения различных вариантов шумоизолирующего кожуха:

1 – шумоизолирующий кожух из пористого воздухоподуваемого металлического материала, обладающего звукоглощающими и вибродемптирующими свойствами, например, прессованного сетчатого материала (ПСМ); 2 – торцевые стенки блок-картера ДВС; 3 – картер сцепления

**Патент РФ на изобретение RU 2165542**  
«Модульный агрегат топливоподачи системы  
питания двигателя транспортного средства»

Авторы: Фесина М.И.,  
Соколов А.В.

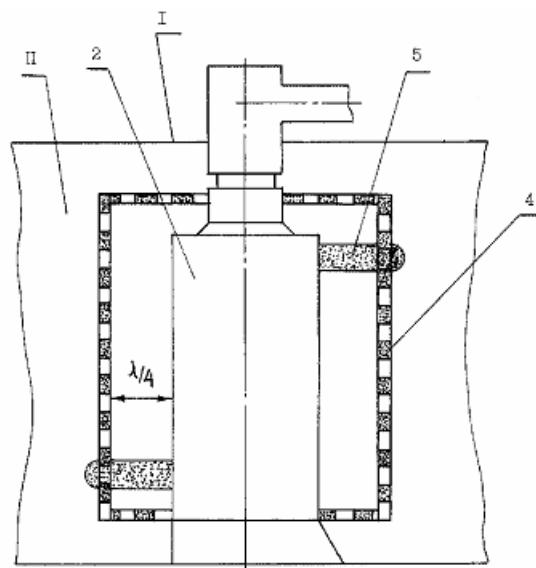


Рис. 9.61. Схема установки модульного агрегата топливоподачи в топливном баке  
со встроенным электробензонасосом:  
1 – топливный бак; 2 – электробензонасос; 4 – перфорированная капсула (рассеиватель акустической  
энергии); 5 – виброшумодемпфирующие элементы; П – полость бака;  $\lambda$  – длина звуковой волны

**Патент РФ на изобретение RU 2160398**  
«Демпфер колебаний коленчатого вала  
двигателя внутреннего сгорания (ДВС)»

Авторы: Фесина М.И.,  
Соколов А.В.

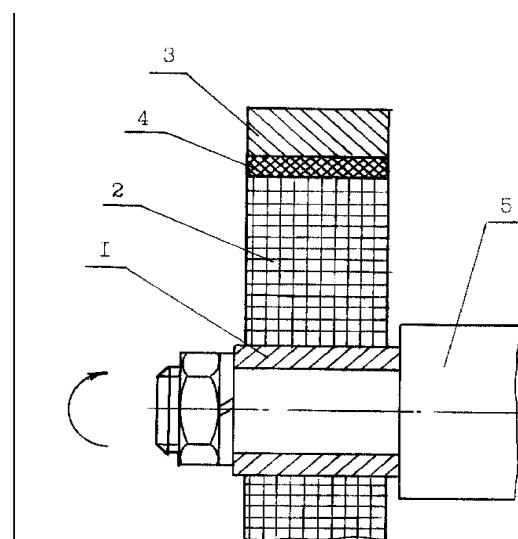


Рис. 9.62. Поперечное сечение демпфера колебаний, смонтированного  
на носке коленчатого вала ДВС:

1 – ступичная часть; 2 – дисковая часть из звукопоглощающего пористого прессованного сетчатого  
материала (ПСМ); 3 – обод (сейсмическая масса) демпфера; 4 – упругий (резиновый) кольцевой  
элемент; 5 – носок коленчатого вала

**Патент РФ на изобретение RU 2129216**  
**«Двигатель внутреннего сгорания (ДВС)»**

Авторы: Фесина М.И.,  
Соколов А.В.

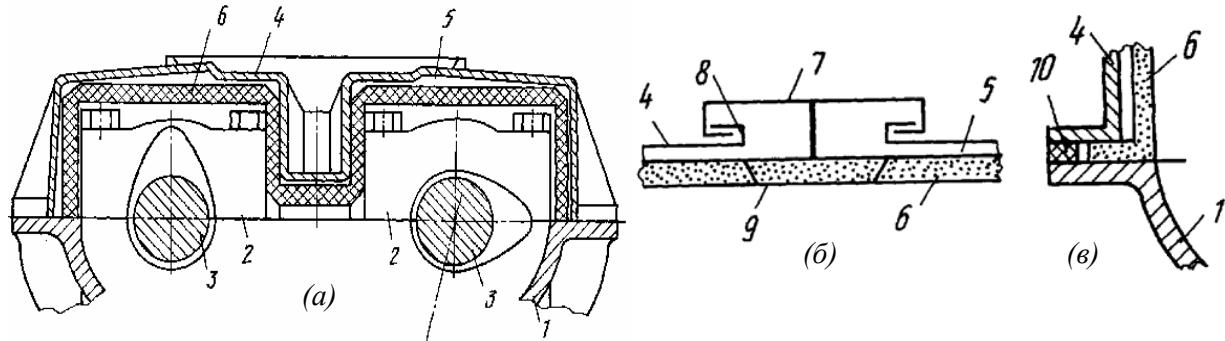


Рис. 9.63. Фрагмент поперечного сечения головки блока цилиндров ДВС (а),  
схема маслозаливной горловины (б), схема крепления рассеивателя звуковой энергии  
в стыке головки блока цилиндров с ее крышкой (в):

1 – головка блока цилиндров; 2 – корпус подшипников распределительных валов;  
3 – распределительные валы; 4 – крышка головки блока цилиндров; 5 – замкнутая воздушная  
полость; 6 – пористый рассеиватель звуковой энергии (например, прессованный сетчатый материал  
- ПСМ); 7 – крышка маслозаливной горловины; 8 – маслозаливная горловина;  
9 – пробка маслозаливной горловины; 10 – герметизирующая прокладка

**Патент РФ на изобретение RU 2170362**  
**«Модульный агрегат топливоподачи системы  
питания двигателя транспортного средства»**

Авторы: Фесина М.И.,  
Соколов А.В.

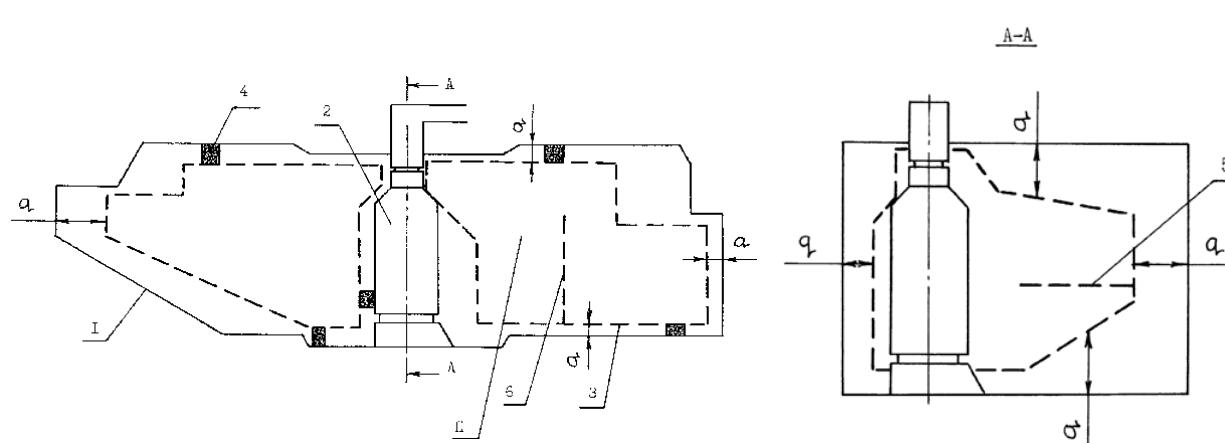


Рис. 9.64. Схема модуля системы питания ДВС в составе топливного бака  
со встроенным электробензонасосом:  
1 – топливный бак; 2 – электробензонасос; 3 – перфорированная или пористая металлическая  
прессованная волокнистая обечайка; 4 – вибродемптирующие элементы; 5 – продольные  
перфорированные перегородки; 6 – поперечные продольные перфорированные перегородки;  
q – зазор между поверхностью обечайки и стенками топливного бака; П – полость топливного бака

**Патент РФ на изобретение RU 2115007**  
**«Масляный поддон двигателя внутреннего**  
**сгорания (ДВС)»**

Авторы: Фесина М.И.,  
Соколов А.В.

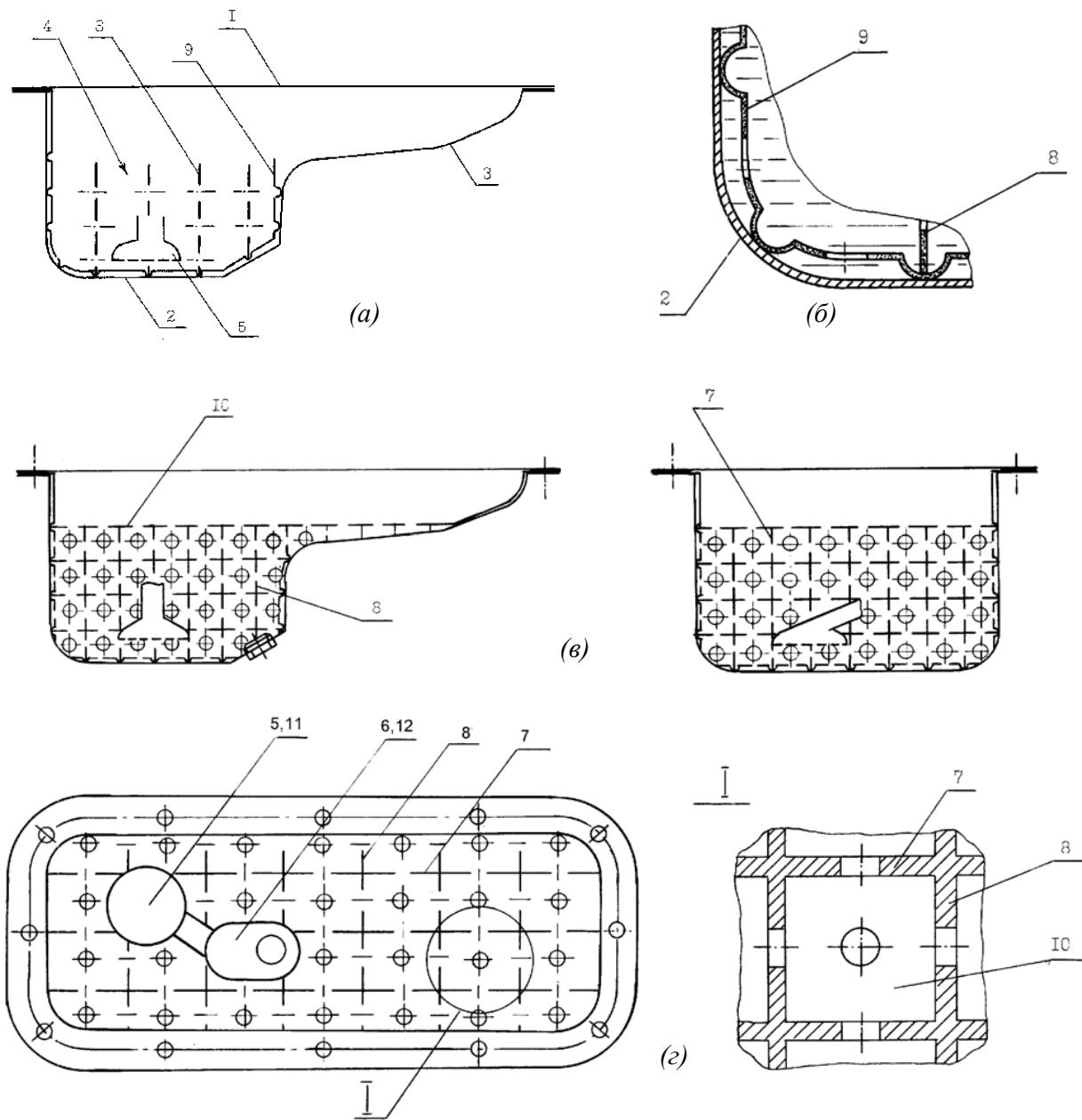


Рис. 9.65. Монтажный разъем блок-картера ДВС с закрепленным масляным поддоном (а, в), фрагмент донной части поддона (б), объемный кассетный модуль с выполненными полостями под маслоприемник и масляный насос (г):  
1 – блок-картер ДВС; 2 – донная часть блок-картера; 3 – присоединительная часть масляного поддона; 4 – успокоитель; 5 – маслоприемник; 6 – масляный насос; 7 – вертикальные продольные перфорированные пластины; 8 – вертикальные поперечные перфорированные пластины; 9 – общее перфорированное основание; 10 – горизонтальные перфорированные пластины; 11, 12 – технологические полости под установку маслоприемника и масляного насоса

**Патент РФ на изобретение RU 2131986**  
**«Масляный поддон двигателя внутреннего сгорания (ДВС)»**

Авторы: Фесина М.И.,  
 Соколов А.В.

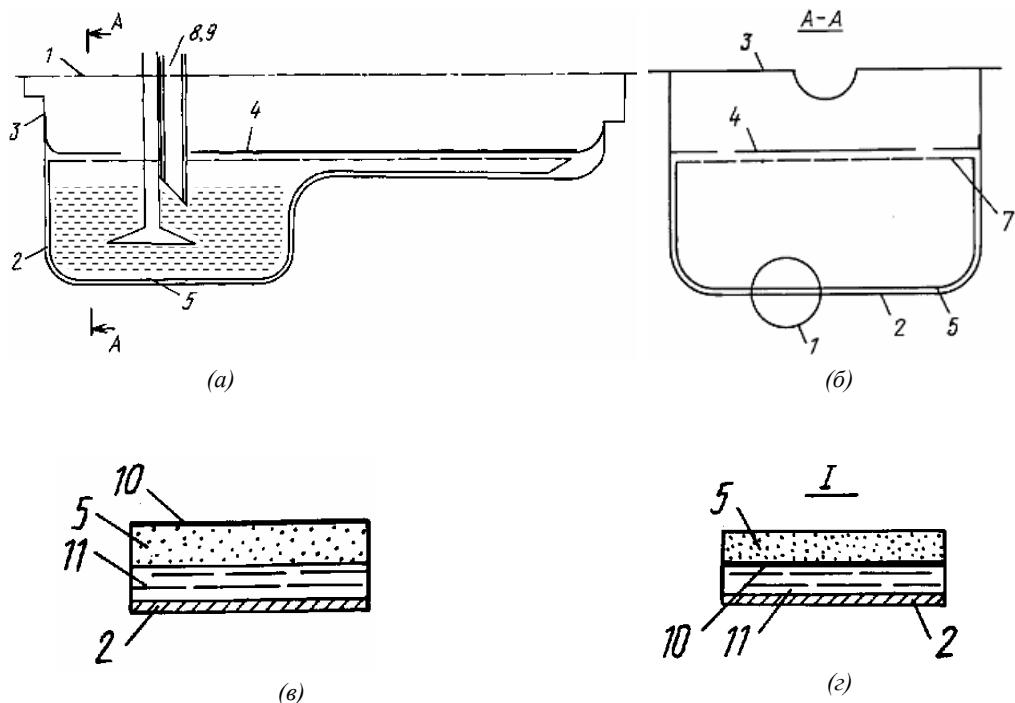


Рис. 9.66. Схемы масляного поддона ДВС (а, б) и вариантов исполнения структуры шумопоглощающего элемента (в, г), помещенного в полости масляного поддона:

1 – ось коленчатого вала; 2 – донная часть поддона; 3 – присоединительная часть; 4 – пластинчатый успокоитель; 5 – стенка шумопоглощающего элемента ячеистой структуры; 8 – наливной лоток; 9 – маслозаборник; 10 – звукоизоляционная пленка; 11 – зазор, заполненный маслом

**Патент РФ на изобретение RU 2243111**  
**«Транспортное средство (ТС)»**

Авторы: Коковин В.И.,  
 Фесина М.И.

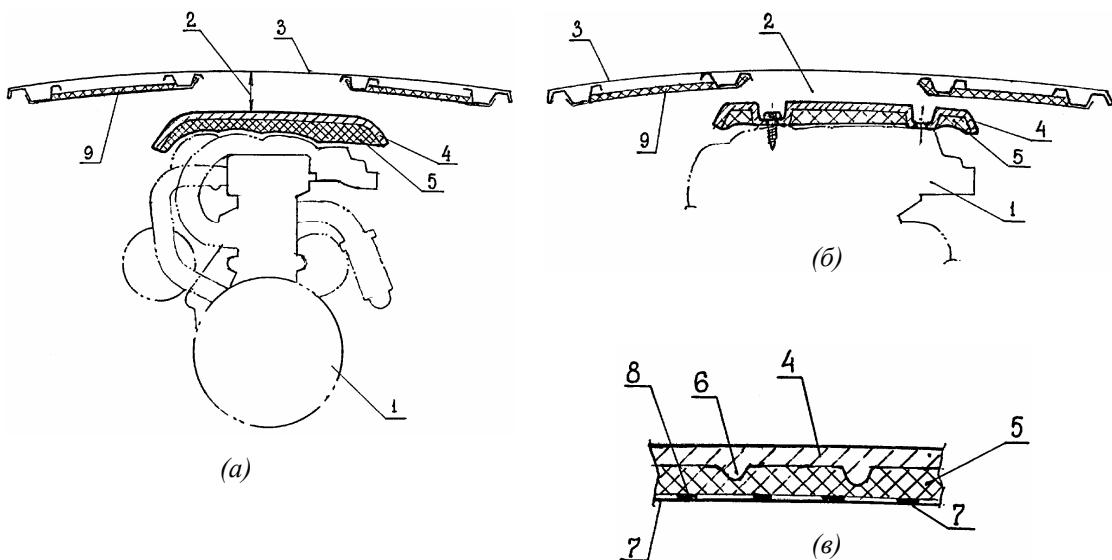


Рис. 9.67. Фрагмент поперечного сечения моторного отсека ТС (а), возможный вариант крепления кожуха на корпусе ДВС (б), фрагмент поперечного сечения кожуха (в):  
 1 – ДВС; 2 – воздушный зазор; 3 – капот кузова; 4 – декоративная пористая оболочка кожуха; 5 – звукоизолирующая панель из пористого материала; 6 – ребра жесткости; 7 – защитный звукоизолирующий слой; 8 – адгезионный монтажный слой; 9 – звукоизолирующая обивка капота

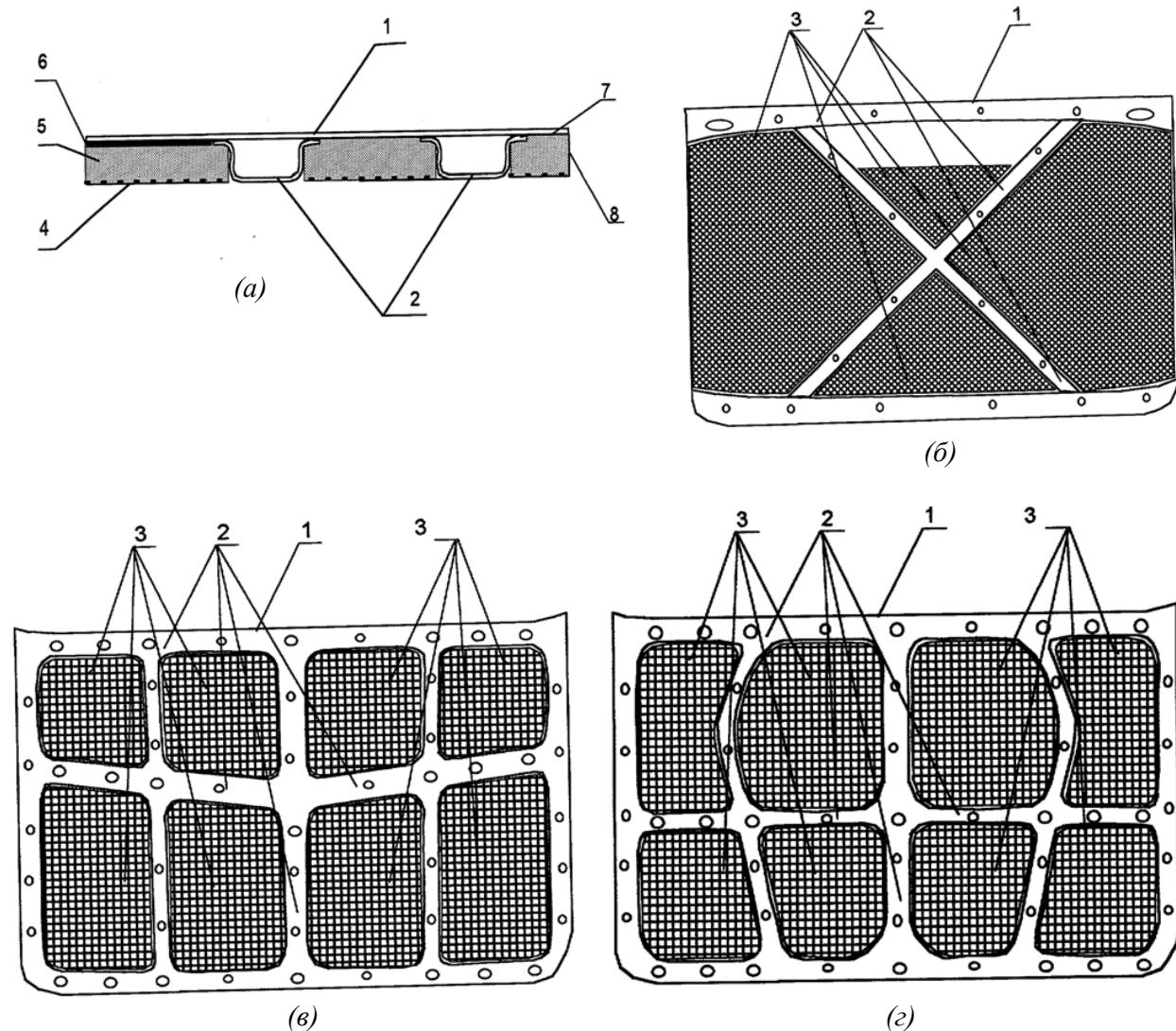


Рис. 9.68. Сечение шумопоглощающей облицовки капота кузова автомобиля (а) и варианты компоновки плосколистовых панелей шумопоглощающей облицовки на внутренней поверхности панели капота кузова (б, в, г):  
1 – панель капота; 2 – ребра жесткости; 3 – плосколистовые панели шумопоглощающей облицовки; 4 – защитный звукопрозрачный газовлагонепроницаемый слой;  
5 – пористый звукопоглощающий слой

**Патент РФ на полезную модель RU 5970**  
**«Шумодемпфирующий брызговик отсека**  
**силового агрегата транспортного средства (ТС)»**

Авторы: Данилов О.В.,  
Фесина М.И., Филин Е.В.

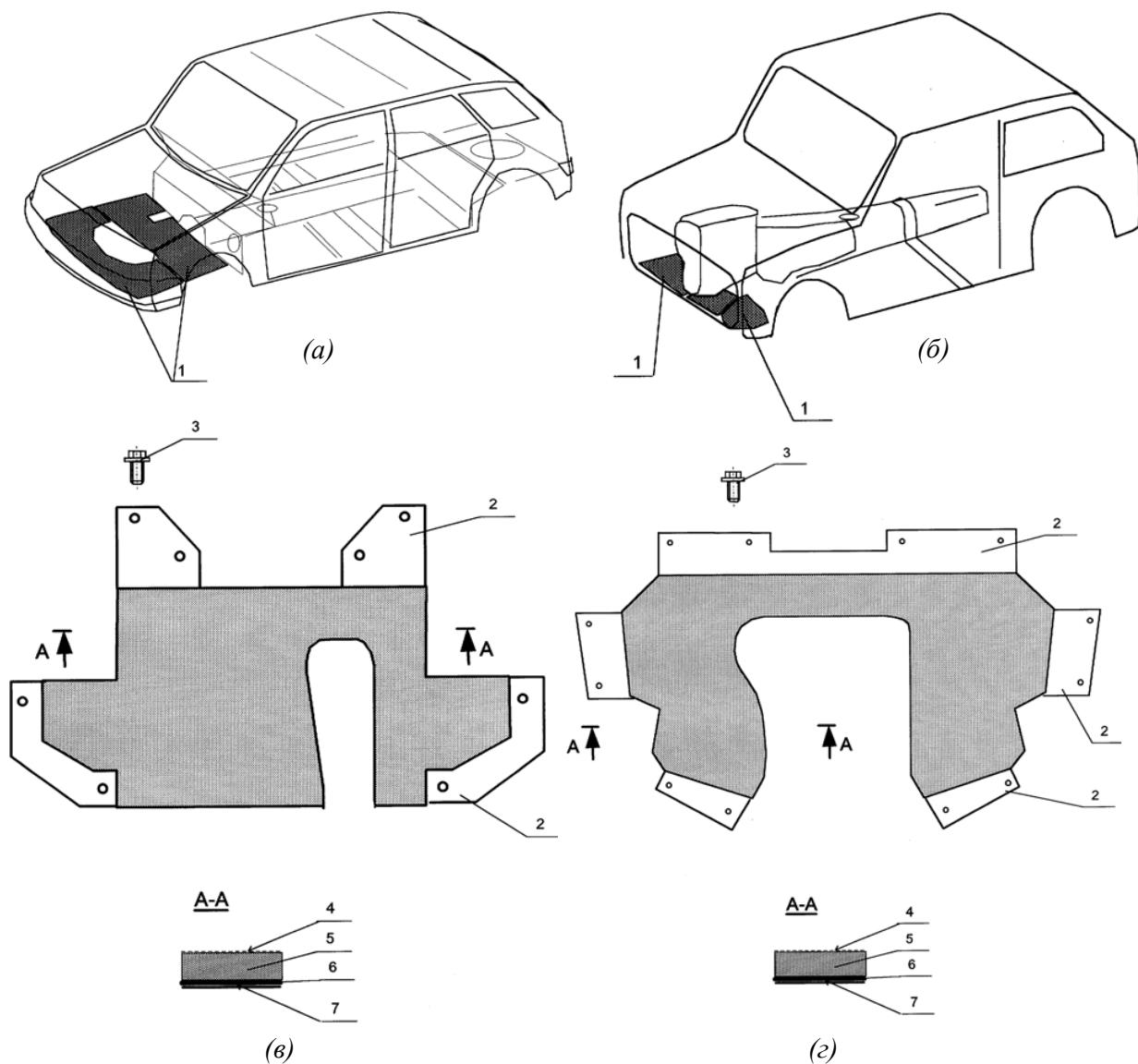


Рис. 9.69. Варианты размещения шумодемпфирующего брызговика в моторном отсеке кузова автомобиля (а, б) и различные варианты его конструктивного исполнения (в, г):

1 – несущая панель брызговика; 2 – монтажные фланцы; 3 – крепежные элементы;  
4 – защитный звукопропроницаемый слой; 5 – слой пористого  
звукопоглощающего материала; 6 – слой вязкоэластичного вибродемпфирующего материала;  
7 – монтажный адгезионный слой

**Патент РФ на полезную модель RU 52110**  
«Кожух двигателя внутреннего сгорания (ДВС)  
транспортного средства (ТС)»

Авторы: Фесина М.И.,  
Филин Е.В.

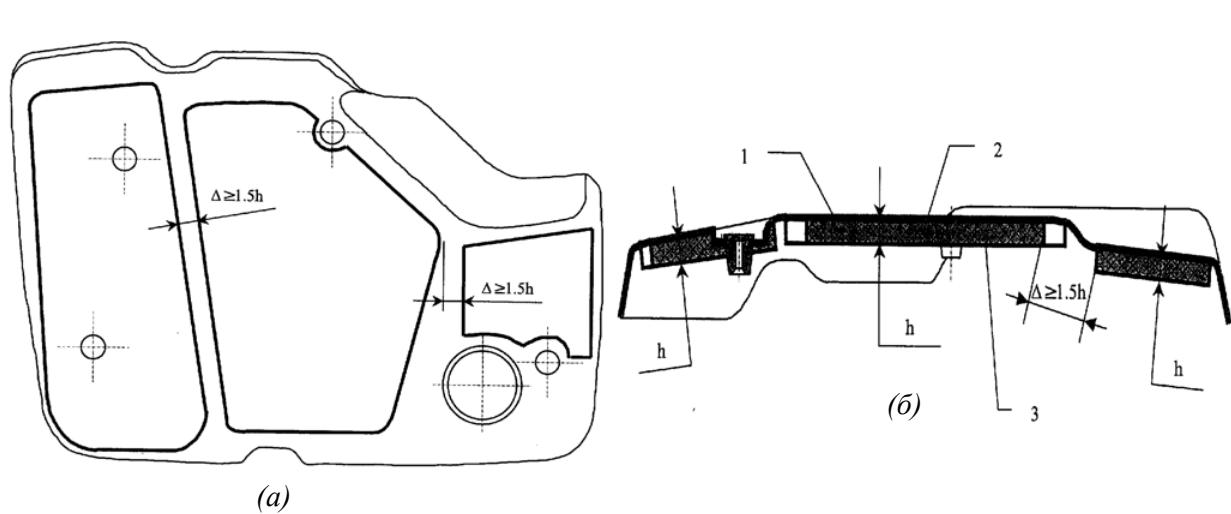


Рис. 9.70. Вид в плане (а) и поперечное сечение (б) верхнего кожуха ДВС:  
1 – несущая декоративная оболочка из плотного полимерного материала; 2 – плосколистовая звукопоглощающая панель; 3 – защитный звукопрозрачный газовлагонепроницаемый слой;  
h – толщина плосколистовой звукопоглощающей панели;  $\Delta$  – величина воздушного зазора  
между торцами плосколистовых звукопоглощающих панелей

**Патент РФ на полезную модель RU 51216**  
«Система дистанционного отсоса выхлопных газов для динамического стенда с беговыми барабанами, используемая при акустических испытаниях транспортных средств (ТС)»

Авторы: Фесина М.И., Дерябин И.В.,  
Теляковский В.В., Люкшин Ю.И.

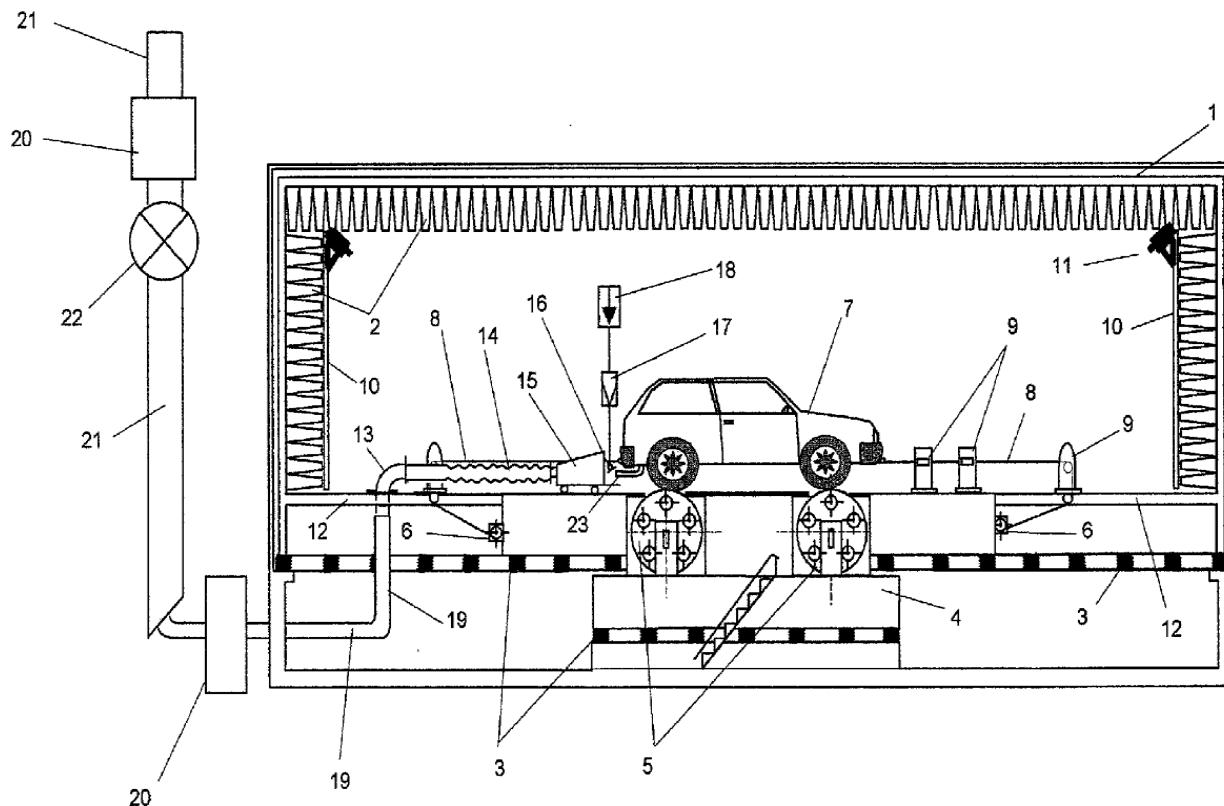
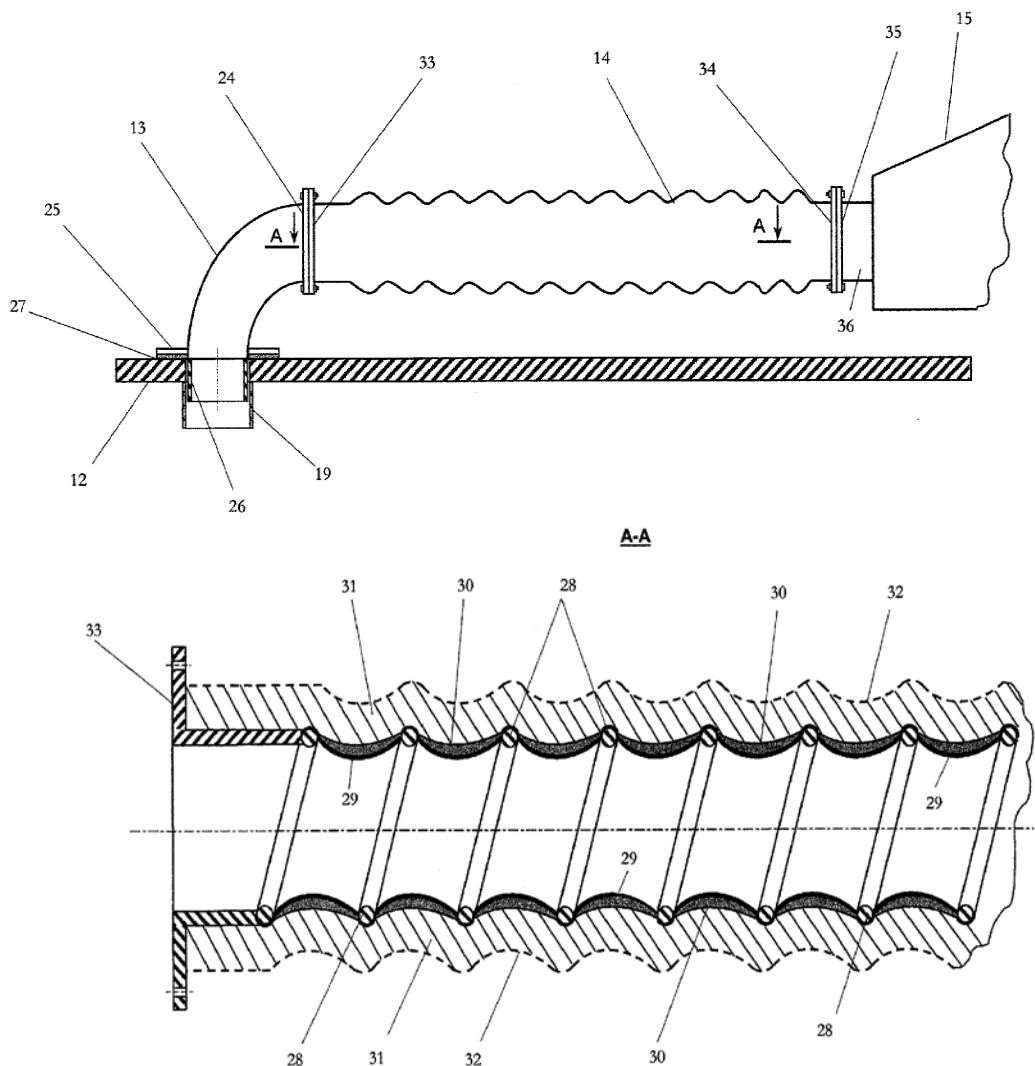


Рис. 9.71. Схема полубезэховой акустической камеры, содержащей динамический стенд с бего-вымы барабанами:

1 – полубезэховая акустическая камера; 2 – звукопоглощающие кулисы; 3 – виброизолирующие пружины; 4 – виброфундамент стенда; 5 – беговые барабаны; 6 – электролебедка; 7 – ТС; 8 – крепежный трос; 9 – крепежные стойки; 10 – приточно-вытяжная вентиляция; 11 – система видеомониторинга; 12 – пол испытательной камеры; 13 – поворотный соединительный элемент; 14 – отводящий канал отсоса выхлопных газов в виде гибкого шланга многослойной структуры; 15 – открытый конический растрub; 16 – измерительный микрофон; 17 – измерительный усилитель; 18 – регистрирующий прибор; 19 – трубопровод технологиче-ской системы отсоса выхлопных газов; 20 – технологический глушитель шума; 21 – вен-тиляционный канал; 22 – центробежная вентиляционная установка

**Патент РФ на полезную модель RU 51216**  
**«Система дистанционного отсоса выхлопных газов для динамического стенда с беговыми барабанами, используемая при акустических испытаниях транспортных средств (ТС)»**  
**(продолжение)**

Авторы: Фесина М.И., Дерябин И.В., Теляковский В.В., Люкшин Ю.И.



**Рис. 9.72. Фрагменты конструкции системы дистанционного отсоса выхлопных газов:**  
12 – пол испытательной камеры; 13 – поворотный соединительный элемент; 14 – отводящий канал от-соса выхлопных газов в виде гибкого шланга многослойной структуры; 15 – открытый ко-нический растрub; 24 –стыковочный фланец; 25 – установочный фланец; 26 – входной участок элемента 13; 27 – упруго-демпфирующая манжета; 28 – витки проволоки; 29 – термостойкая ткань; 30 – слой стеклоткани; 31 – звукопоглощающий чехол из пористого (волокнистого или вспененного) открытоячеистого материала; 32 – звукоизоляционный газовлагонепрони-цаемый слой; 33, 34 – фланцы гибкого шланга отводящего канала; 35 – фланец цилиндрического присоединительного насадка (36)

**Патент РФ на полезную модель RU 50308**

«Система дистанционного отсоса выхлопных газов для динамического стенда с беговыми барабанами, используемая при акустических испытаниях транспортных средств (ТС)»

Авторы: Фесина М.И., Дерябин И.В.,  
Теляковский В.В., Люкшин Ю.И.

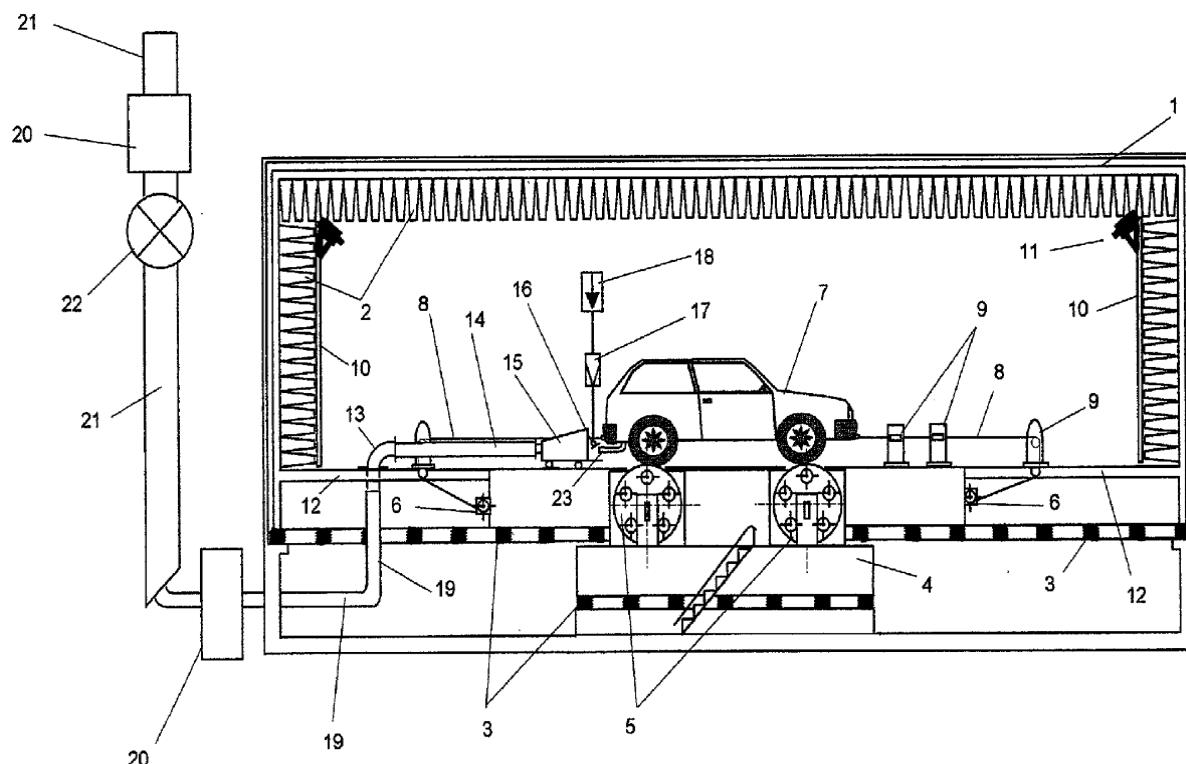


Рис. 9.73. Схема полубезэховой акустической камеры, содержащей динамический стенд с беговыми барабанами:

1 – полубезэховая акустическая камера; 2 – звукопоглощающие кулисы; 3 – виброизолирующие пружины; 4 – виброфундамент стенда; 5 – беговые барабаны; 6 – электролебедка; 7 – ТС; 8 – крепежный трос; 9 – крепежные стойки; 10 – приточно-вытяжная вентиляция; 11 – система видеомониторинга; 12 – пол испытательной камеры; 13 – поворотный соединительный элемент; 14 – отводящий канал отсоса выхлопных газов в виде гибкого шланга многослойной структуры; 15 – открытый конический растрub; 16 – измерительный микрофон; 17 – измерительный усилитель; 18 – регистрирующий прибор; 19 – трубопровод технологической системы отсоса выхлопных газов; 20 – технологический глушитель шума; 21 – вентиляционный канал; 22 – центробежная вентиляционная установка

**Патент РФ на полезную модель RU 50308**  
**«Система дистанционного отсоса выхлопных**  
**газов для динамического стенда с беговыми**  
**барабанами, используемая при акустических**  
**испытаниях транспортных средств (ТС)»**  
**(продолжение)**

Авторы: Фесина М.И., Дерябин И.В.,  
 Теляковский В.В., Люкшин Ю.И.

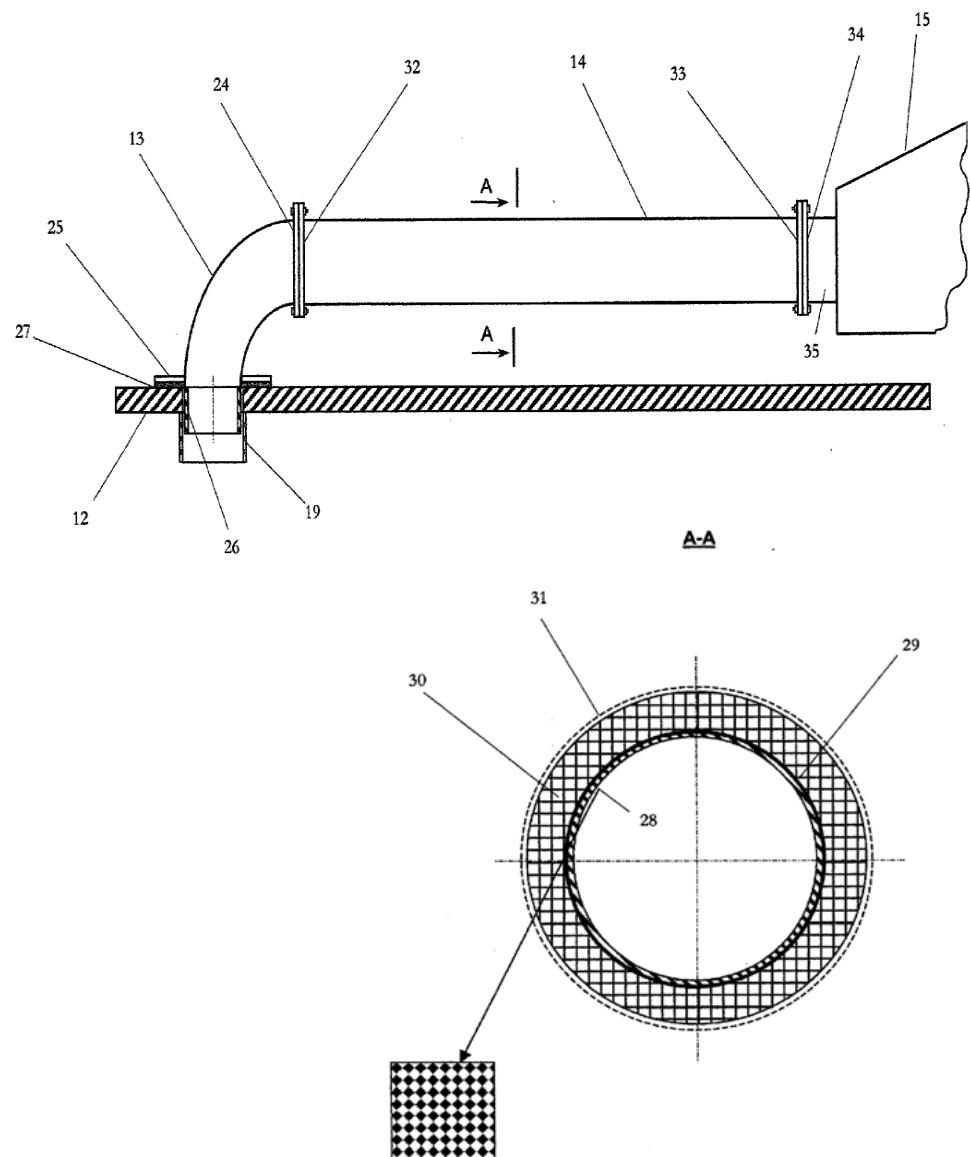


Рис. 9.74. Фрагменты конструкции системы дистанционного отсоса выхлопных газов:  
 12 – пол испытательной камеры; 13 – поворотный соединительный элемент;  
 14 – отводящий канал отсоса выхлопных газов в виде гибкого шланга многослойной структуры;  
 15 – открытый конический растрub; 24 –стыковочный фланец; 25 – установочный фланец;  
 26 – входной участок элемента 13; 27 – упруго-демпфирующая манжета; 28 – витки проволоки;  
 29 – термостойкая ткань; 30 – слой пористого звукопоглощающего материала;  
 31 – звукопрозрачный газо-влагонепроницаемый слой; 32, 33 – фланцы гибкого шланга отводящего  
 канала; 34 – фланец цилиндрического присоединительного насадка

**Патент РФ на полезную модель RU 49989**  
**«Устройство для позиционирования измерительной аппаратуры и измерения звукового излучения от локальных источников на транспортных средствах»**

Авторы: Фесина М.И.,  
 Малкин И.В.

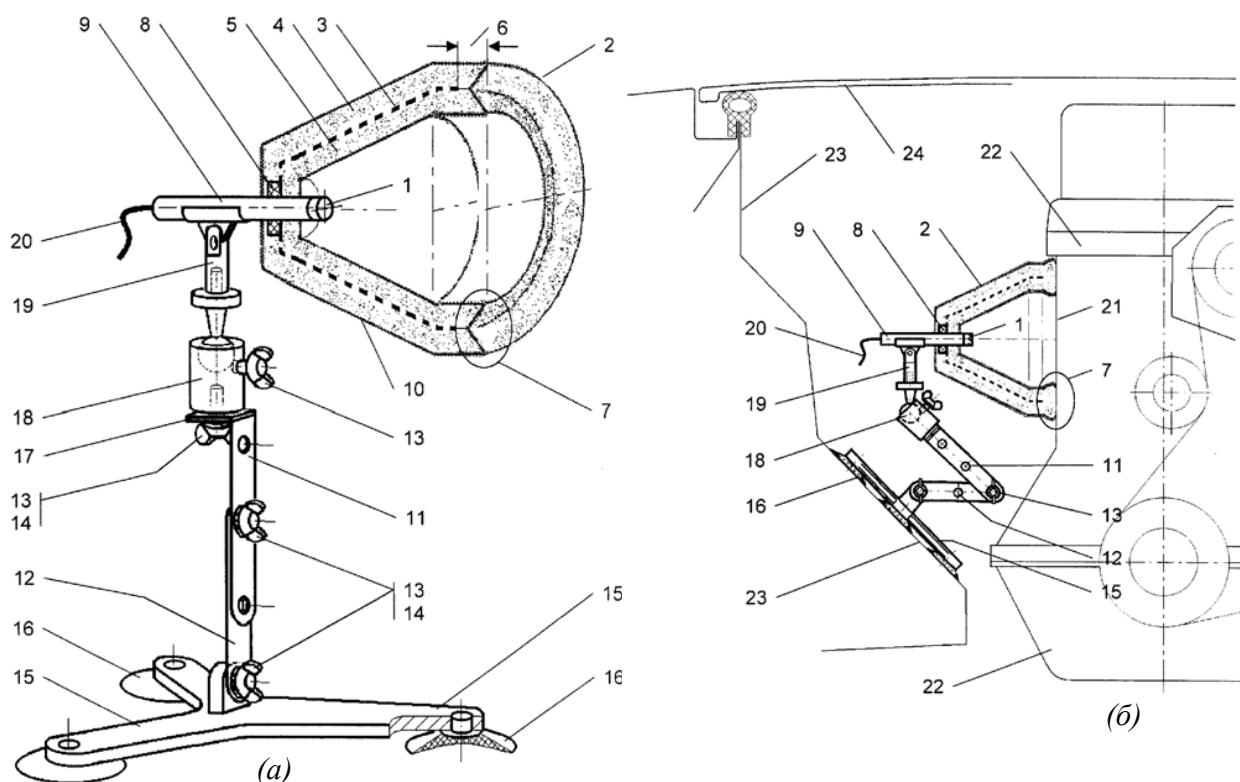


Рис. 9.75. Схема устройства для позиционирования измерительной аппаратуры (а) и его размещения в пространстве моторного отсека автомобиля (б):

- 1 – измерительный микрофон; 2 – звукоизолирующая оболочка; 3 – несущий закладной элемент;  
 4, 5 – пористые звукоизолирующие футеровки; 6 – эластичная уплотнительная часть;  
 7 – зона прилегания звукоизолирующих футеровок к исследуемой звукоизлучающей  
 поверхности; 8 – резиновая втулка; 9 – микрофонный предусилитель; 10 – звукоизолирующая  
 газовлагонепроницаемая пленка; 11 – кронштейн; 12 – регулировочная пластина; 13 – болт-  
 барабашек; 14 – стопорная шайба; 15 – опорная платформа; 16 – резиновые подушки-присоски;  
 17 – вибродемптирующая накладка; 18 – шаровой переходник; 19 – микрофонная державка;  
 20 – соединительный кабель; 21 – исследуемая поверхность; 22 – силовой агрегат;  
 23 – брызговики колес; 24 – капот кузова

**Патент РФ на полезную модель RU 48224**  
«Устройство для оценки уровня корпусного  
шума, излучаемого элементами системы выпуска  
отработавших газов (СВОГ) двигателей  
колесных транспортных средств (ТС)»

Авторы: Фесина М.И.,  
Дерябин И.В.

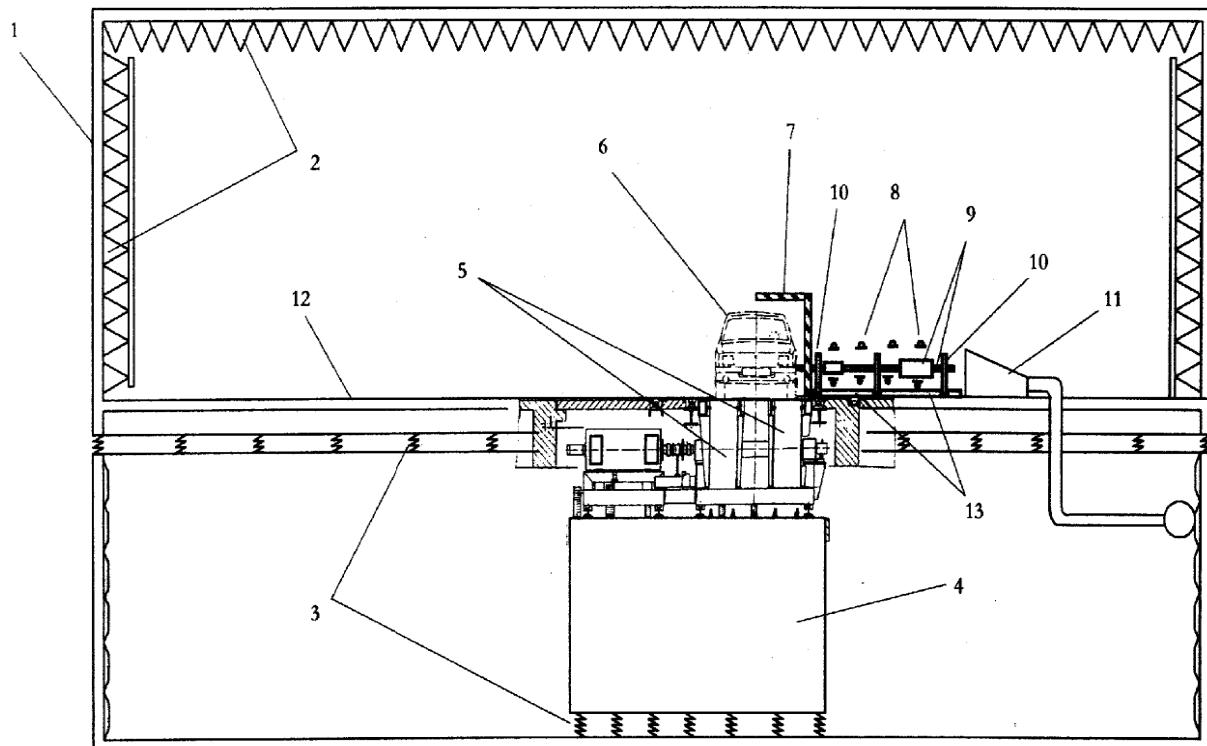


Рис. 9.76. Схема полубезэховой акустической камеры со смонтированным в ее пространстве  
устройством для оценки корпусного шума СВОГ ТС:

- 1 – полубезэховая акустическая камера; 2 – звукопоглощающие клинья;  
3 – виброизоли-рующие пружины; 4 – виброфундамент; 5 – беговые барабаны; 6 – исследуемый  
автомобиль; 7 – звукоизолирующий экран; 8 – измерительные микрофоны; 9 – исследуемая  
выхлопная трасса; 10 – подвеска выхлопной трассы; 11 – раструб для дистанционного отвода  
выхлопных газов; 12 – пол камеры; 13 – легкосъемные поглотители звука

**Патент РФ на полезную модель RU 48224**  
**«Устройство для оценки уровня корпусного**  
**шума, излучаемого элементами системы выпуска**  
**отработавших газов (СВОГ) двигателей колесных**  
**транспортных средств (ТС)» (продолжение)**

Авторы: Фесина М.И.,  
Дерябин И.В.

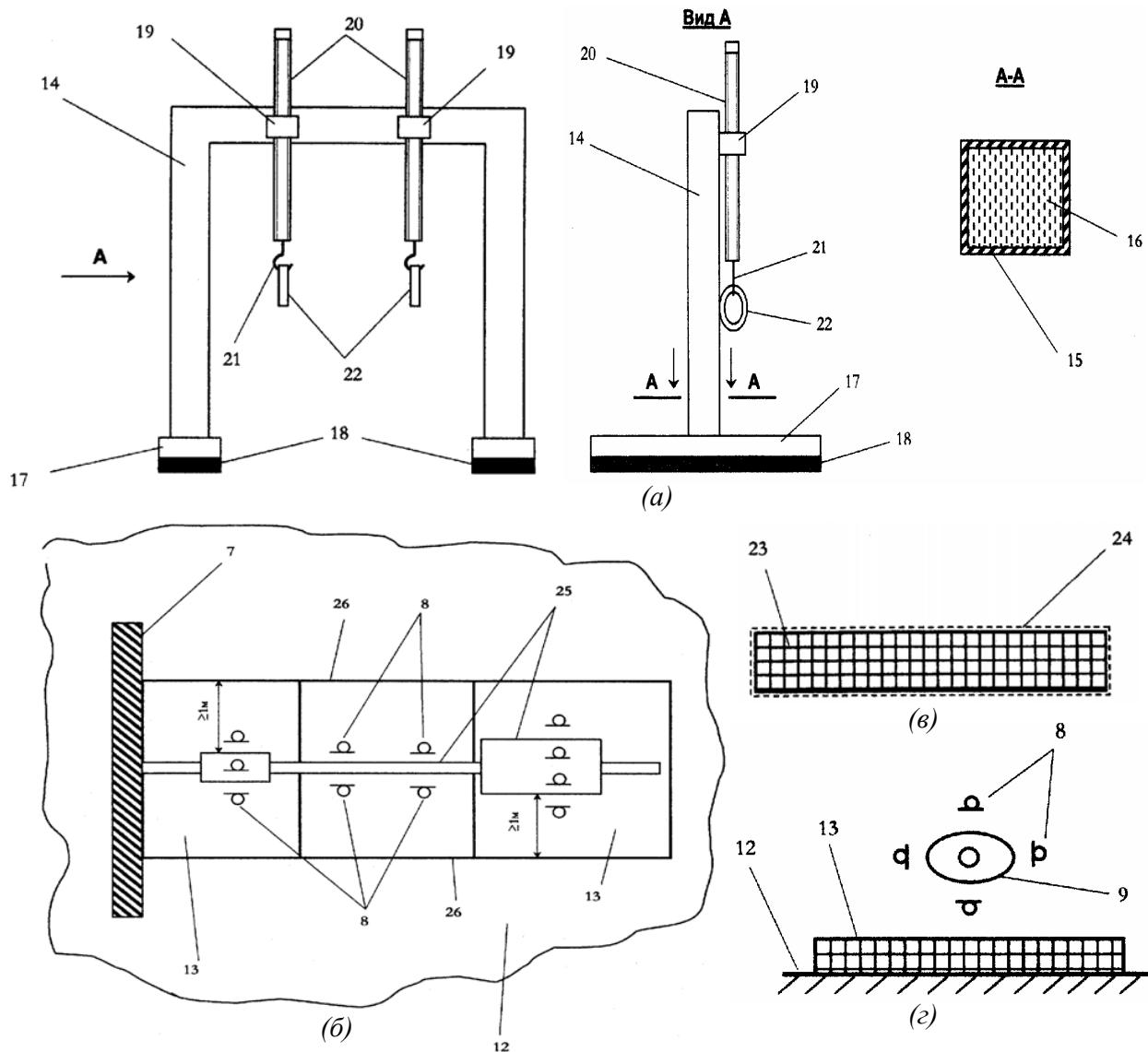


Рис. 9.77. Схемы П-образной стойки (а), звукопоглощающей поверхности, образованной погло-тиелями звука (б), структуры поглотителя звука (в), вида на исследуемую выхлопную трассу со стороны выхлопного патрубка (г):

7 – звукоизолирующий экран; 8 – измерительные микро-фоны; 12 – пол камеры; 13 – легкосъемные поглотители звука; 14 – стойки; 15 – пустотельные трубы; 16 – сыпучее виброшумодемпфирующее вещество; 17 – основание; 18 – виброизоли-рующая подложка; 19 – втулки; 20 – регулировочные штифты; 21 – подвесные крюки; 22 – упругие эластичные элементы; 23 – пористый звукопоглощающий материал; 24 – лицевой звукопрозрачный газовлагонепроницаемый слой; 25 – горизонтальная проекция выхлопной трассы; 26 – боковая краевая линия звукопоглощающей поверхности

Патент РФ на полезную модель RU 40827  
 «Устройство для измерения звукового излучения  
 объекта испытаний типа локальной вибрирующей  
 зоны поверхности корпусной детали агрегата  
 транспортного средства»

Авторы: Фесина М.И.,  
 Малкин И.В.

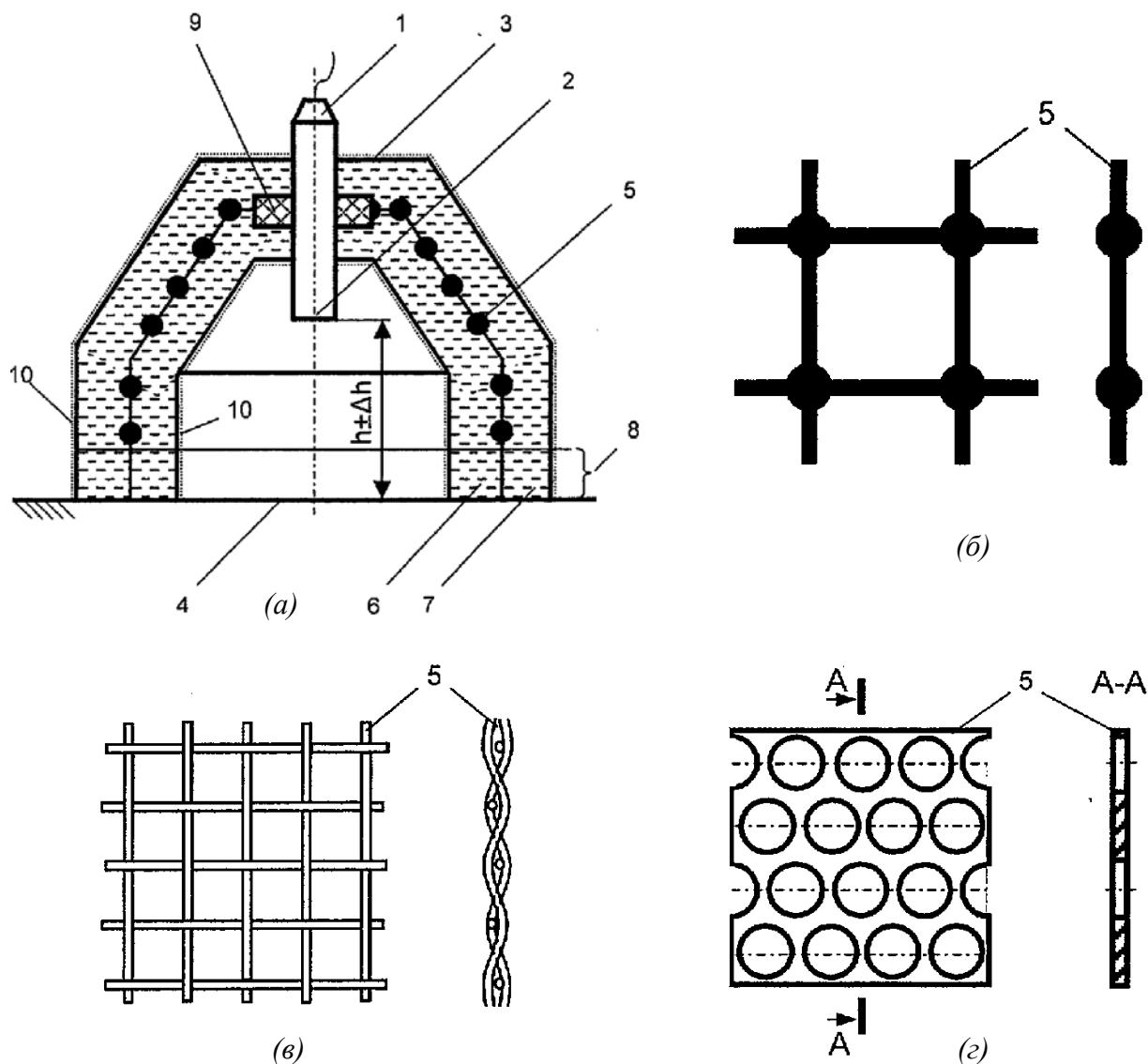
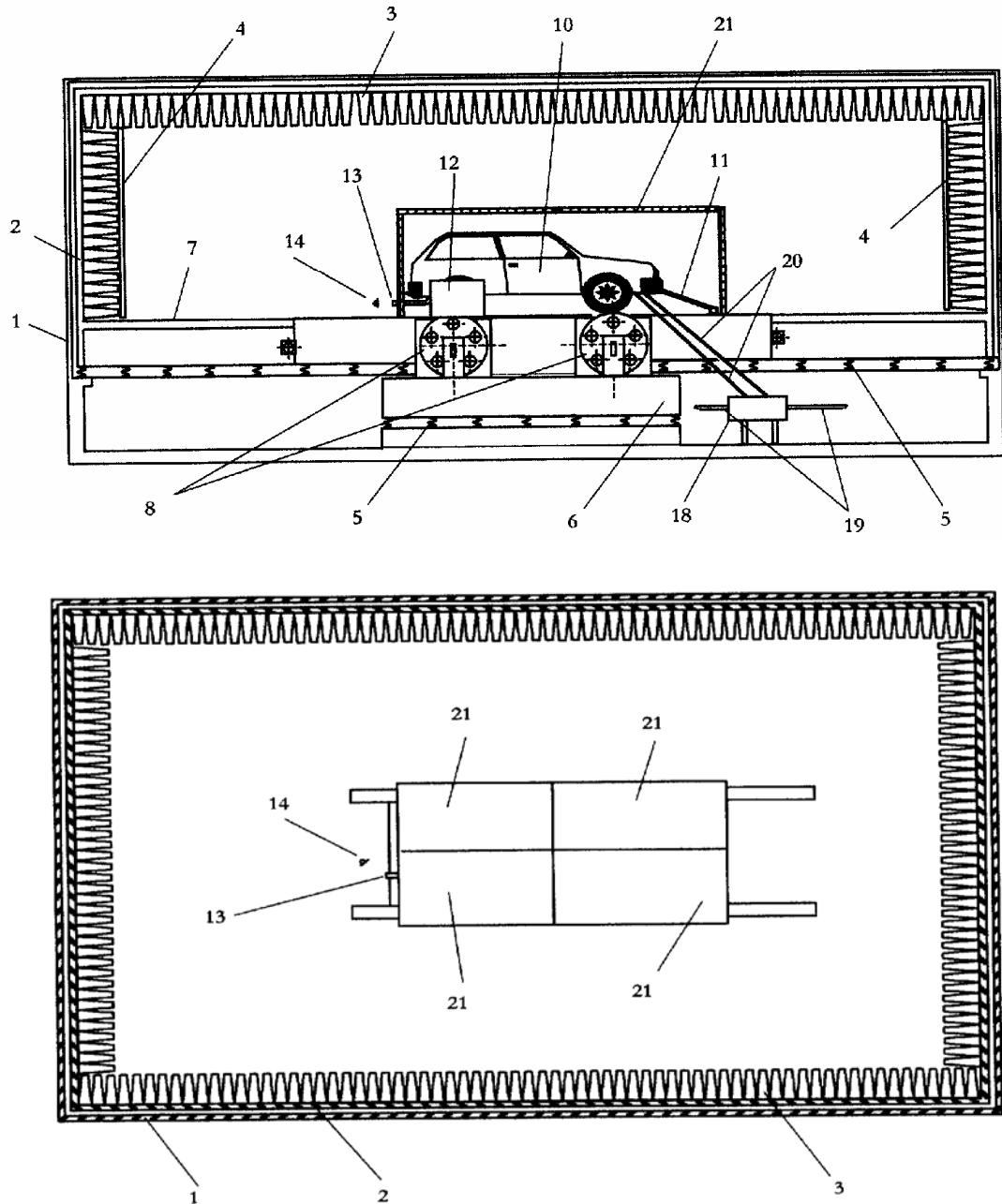


Рис. 9.78. Схема устройства для измерения звукового излучения (а),  
 возможные варианты исполнения несущего закладного элемента (б, в, г):  
 1 – измерительный микрофон; 2 – чувствительный элемент; 3 – замкнутая звукоизолирующая  
 оболочка; 4 – открытое измерительное окно; 5 – несущий закладной элемент;  
 6, 7 – футеровки из пористого открытогочестого материала; 8 – уплотнительная часть  
 звукоизолирующей оболочки; 9 – монтажная резиново-вальная втулка;  
 10 – звукоизолирующая газовлагонепроницаемая пленка

**Патент РФ на полезную модель RU 40793**  
**«Акустическая полубезэховая камера**  
**для исследования шума колесных**  
**транспортных средств (ТС)»**

Авторы: Прохоров С.П.,  
 Фесина М.И., Дерябин И.В.,  
 Люкшин Ю.И.



**Рис. 9.79. Схема полубезэховой акустической камеры с установленным в ее пространстве объектом исследования (ТС):**

- 1 – внешняя бетонная оболочка полубезэховой акустической камеры; 2 – внутренняя бетонная оболочка полубезэховой камеры; 3 – звукопоглощающая облицовка кулисного типа;  
 4 – сопло общеобменной приточно-вытяжной вентиляции; 5 – виброизоли-рующие пружины;  
 6 – фундамент динамического стенда с беговыми барабанами; 7 – жесткий звукоотражающий пол;  
 8 – беговые барабаны; 9 – устройство локального обдува термонагруженных агрегатов исследуемого ТС; 10 – исследуемое ТС; 11 – крепежный ремень; 12 – агрегат крепления за ступицу колеса ТС;  
 13 – срез хвостовой трубы глушителя системы выпуска отработавших газов двигателя ТС;  
 14 – измерительные микрофоны; 18 – теплообменник технологической стеновой системы охлаждения; 19 – трубопроводы технологической стендовой системы охлаждения;  
 20 – резиновые шланги, подключаемые к системе охлаждения двигателя исследуемого ТС;  
 21 – передвижной акустический модуль

**Патент РФ на полезную модель RU 40793**  
**«Акустическая полубезэховая камера**  
**для исследования шума колесных**  
**транспортных средств (ТС)» (продолжение)**

Авторы: Прохоров С.П.,  
 Фесина М.И., Дерябин И.В.,  
 Люкшин Ю.И.

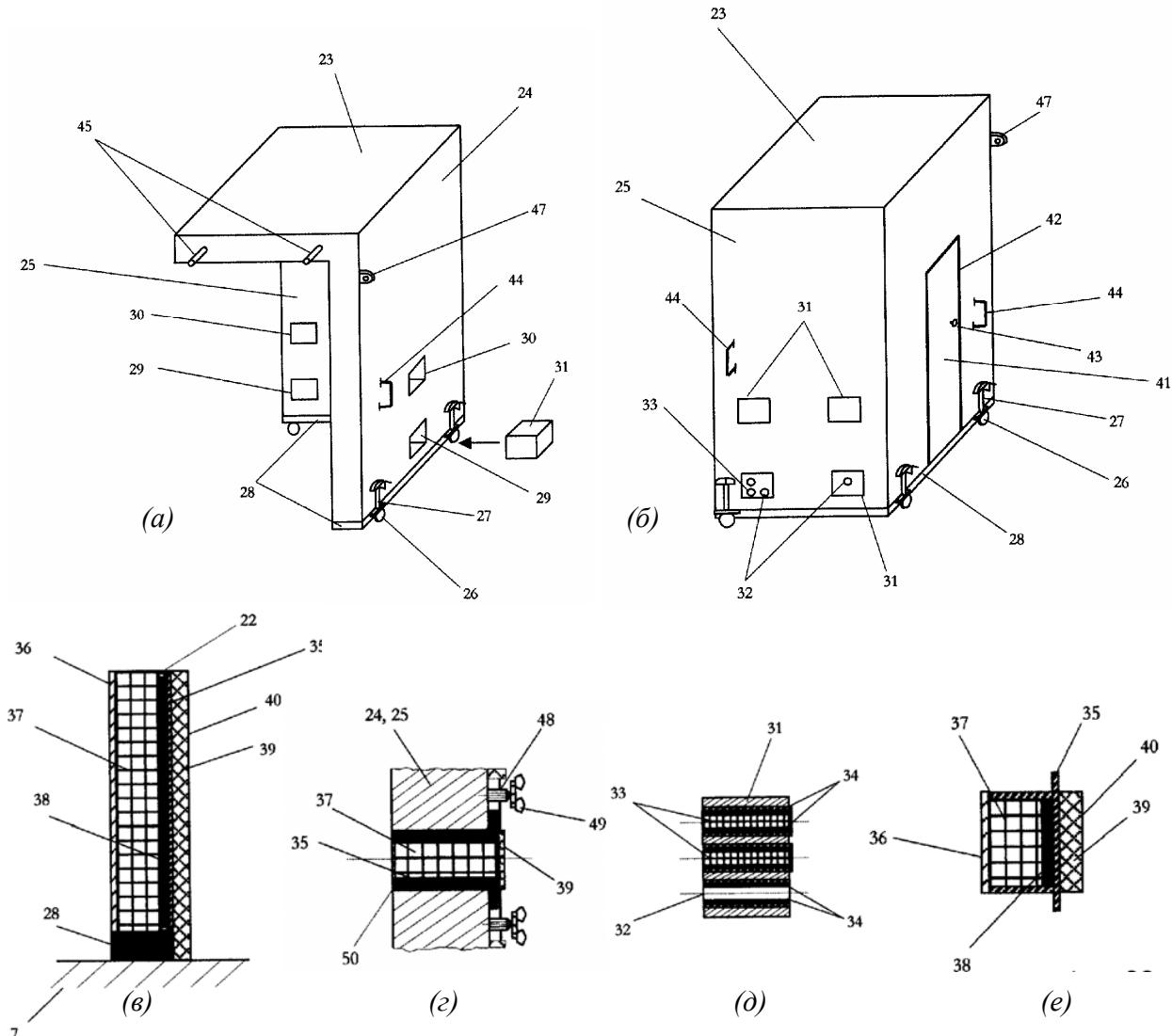


Рис. 9.80. Схемы акустических модулей в изометрии (а, б), поперечное сечение структуры (в) и различные фрагменты акустических модулей (г):

7 – жесткий звукоотражающий пол; 22 – объемный несущий каркас; 23, 24, 25 – верхняя, длинная боковая и короткая боковая много-слойные панели; 26 – колеса; 27 – подъемное устройство; 28, 42 – эластичный звукоизоли-рующий уплотнитель; 29, 30 – сквозные окна; 31 – акустические заглушки; 32 – сквозные каналы; 33 – звукоизолирующие пробки; 34 – упругий термошумоизолирующий уплотнитель; 35 – металлический лист; 36 – перфорированный металлический лист; 37, 39 – слой пористого звукопоглощающего материала; 38 – слой вязкоэластичного вибропоглощающего материала; 40 – защитная звукоизолирующая пленка; 41 – входная дверь; 43 – запорное устройство; 44 – рукоятки; 45 – направляющие штифты; 46 – болтовое соединение; 47 – соединительные кронштейны

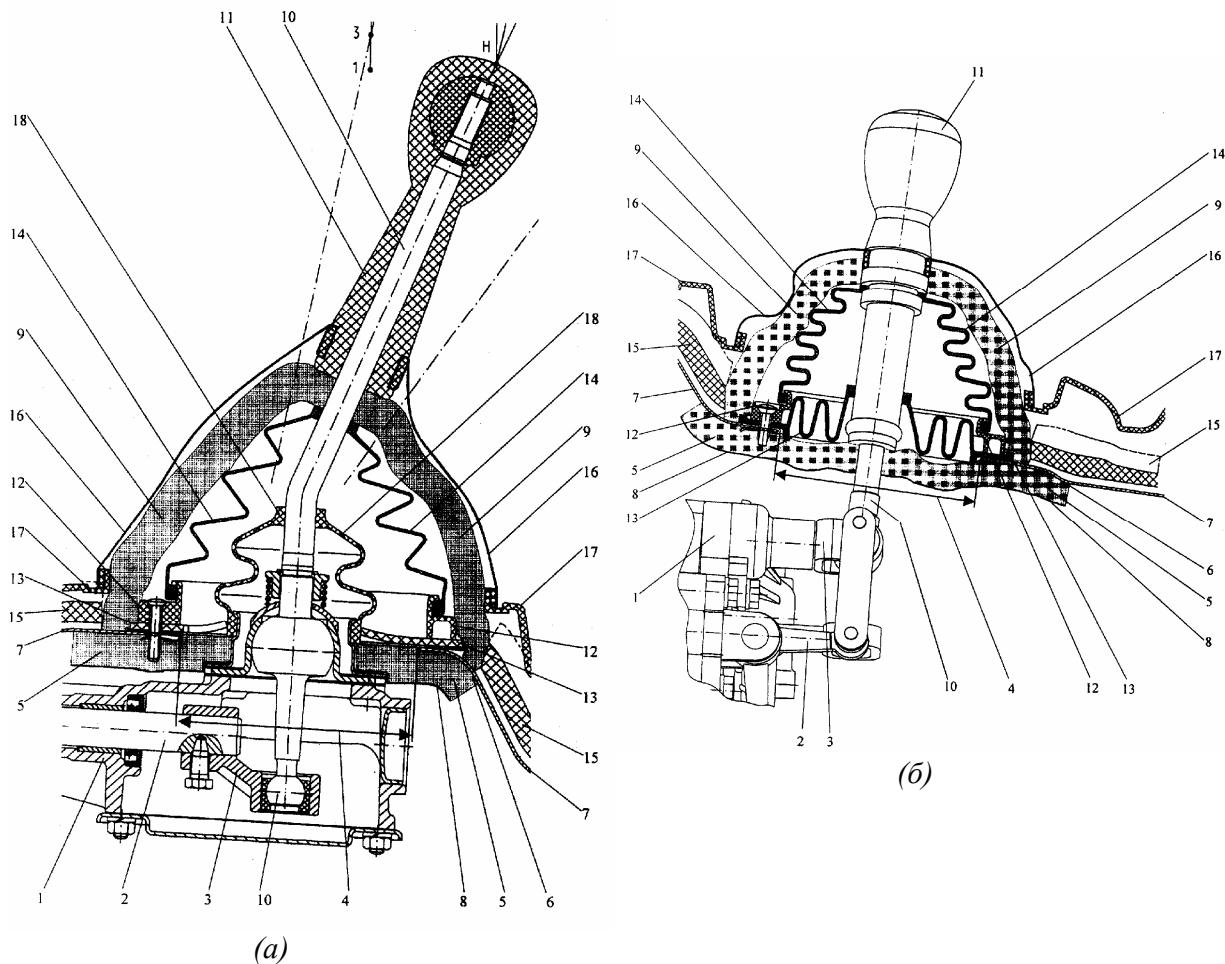


Рис. 9.81. Фрагменты полноприводного автомобиля повышенной проходимости с раздельными рычагами переключения коробки передач (а) и раздаточной коробки (б):  
1 – трансмиссионные агрегаты; 2, 3 – элементы приводов, сообщаемые с пространством пассажирского помещения ТС; 4 – коммуникационные окна; 5 – плосколистовая звукопоглощающая прокладка; 6 – монтажный адгезионный слой; 7 – панель тоннеля пола; 8 – звукоизоляционная газовлагонепроницаемая пленка; 9 – полая конусообразная деталь; 10 – стержень рычага переключения; 11 – стержень рукоятки; 12 – элементы крепления; 13, 14 – грязезащитные уп-лотники; 15 – цельноформованная шумоизоляционная обивка; 16 – декоративный чехол; 17 – декоративная обивка тоннеля пола

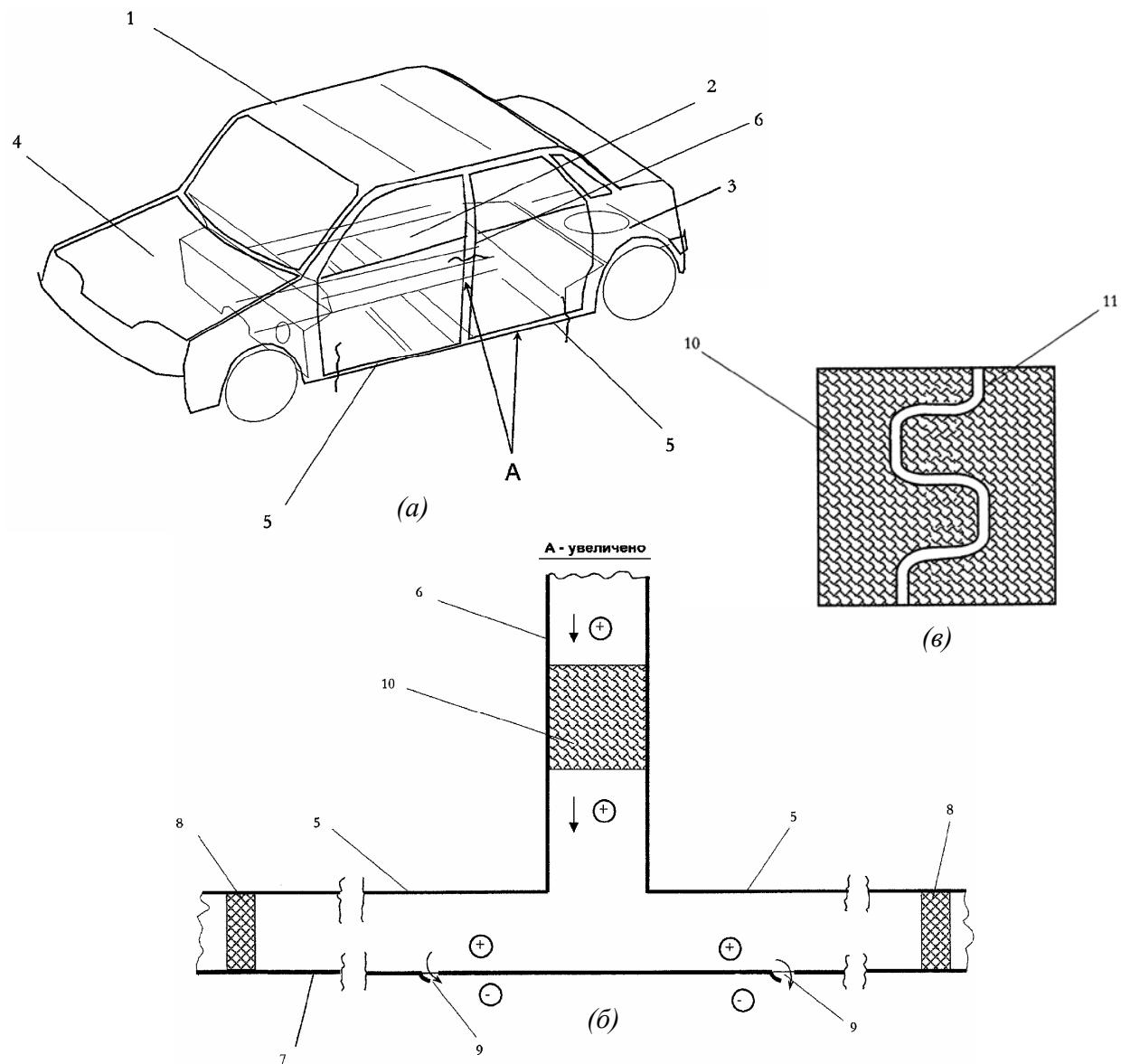


Рис. 9.82. Схема легкового автомобиля (а), содержащего пустотелые силовые элементы каркаса кузова, схема продольного сечения фрагмента центральной стойки и порога пола кузова с устакновленными в их полостях поглотителями звука (б), структура поглотителя звука (в):

1 – кузов автомобиля; 2 – пассажирское помещение; 3 – багажное отделение; 4 – моторный отсек;  
 5 – сечение коробчатого пустотелого силового элемента порога кузова; 6 – центральная стойка кузова; 7 – нижняя (донная) стенка порога кузова (со стороны дорожного покрытия); 8 – акустическая (звукопоглощающая, звукоизолирующая) заглушка; 9 – дренажное отверстие порога кузова; 10 – пористый поглотитель звука; 11 – сквозной спиралеобразный вентиляционный канал; «+» – избыточное давление воздуха в пространстве пассажирского помещения кузова; «-» – пониженное давление воздуха, образуемое под поверхностью стенки пола кузова в зоне внешней стороны донной стенки пола (порога) кузова движущегося транспортного средства (легкового автомобиля)

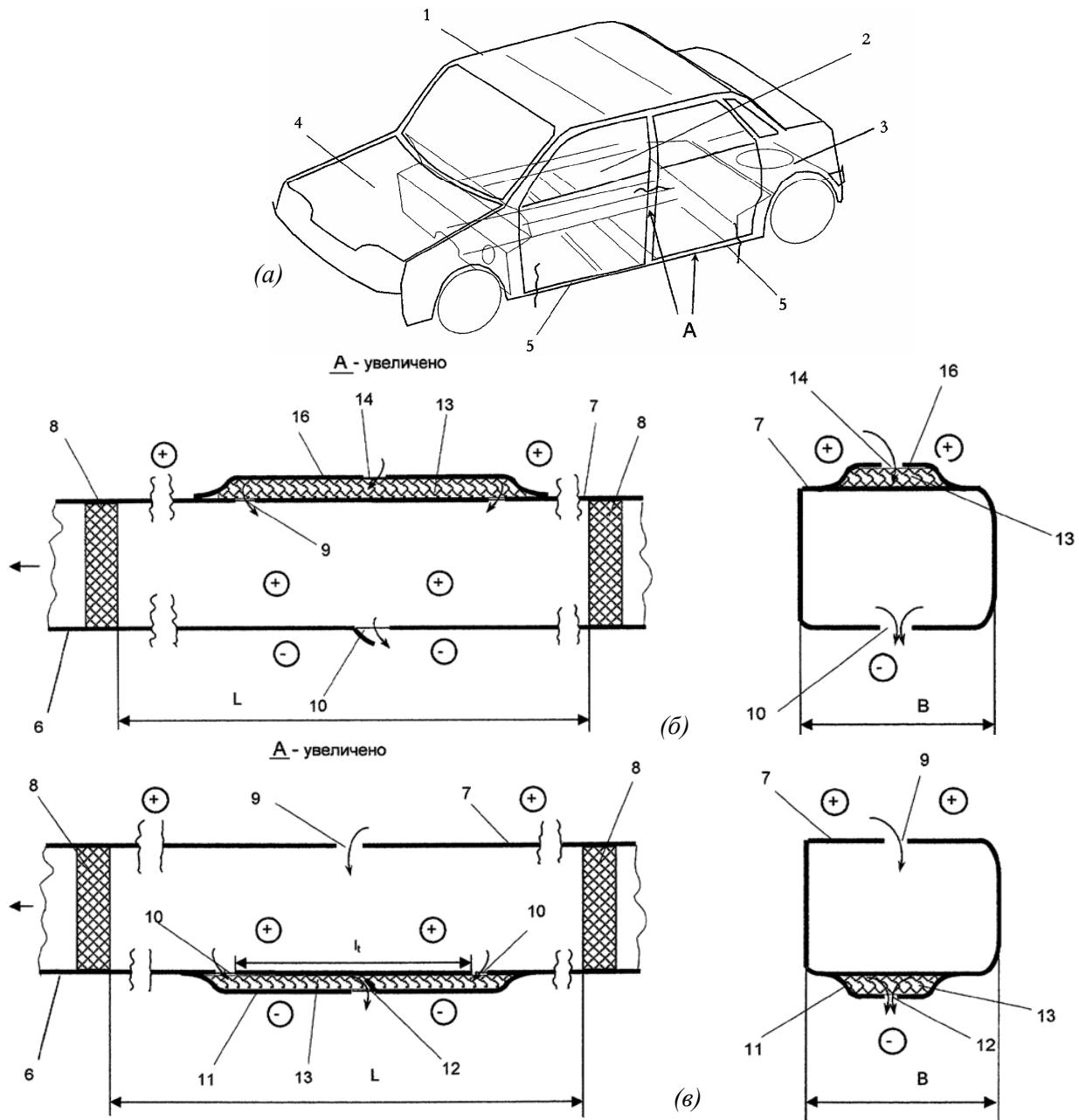


Рис. 9.83. Схема легкового автомобиля (а), содержащего пустотелые силовые элементы каркаса кузова, схемы продольного и поперечного сечения различных вариантов исполнения пустотелых силовых элементов каркаса кузова (б, в):

1 – кузов автомобиля; 2 – пассажирское помещение; 3 – багажное отделение; 4 – моторный отсек; 5 – сечение коробчатого пустотелого силового элемента порога кузова; 6 – нижняя внешняя стенка порога кузова; 7 – верхняя внутренняя стенка порога кузова; 8 – акустическая (звукопоглощающая, звукоизолирующая) заглушка; 9 – перепускное отверстие порога кузова; 10 – дренажное отверстие порога кузова; 11 – дренажный эжектирующий канал в виде трубчатого элемента; 12 – внешнее отверстие дренажного эжектирующего канала; 13 – пористый поглотитель высокочастотного звука; 14 – верхнее отверстие перепускного воздушного канала; 16 – перепускной воздушный канал в виде трубчатого элемента; «+» – избыточное давление воздуха в пространстве пассажирского помещения кузова; «=>» – пониженное давление воздуха, образуемое под поверхностью стенки пола кузова в зоне внешней стороны донной стенки пола (порога) кузова движущегося транспортного средства (легкового автомобиля)

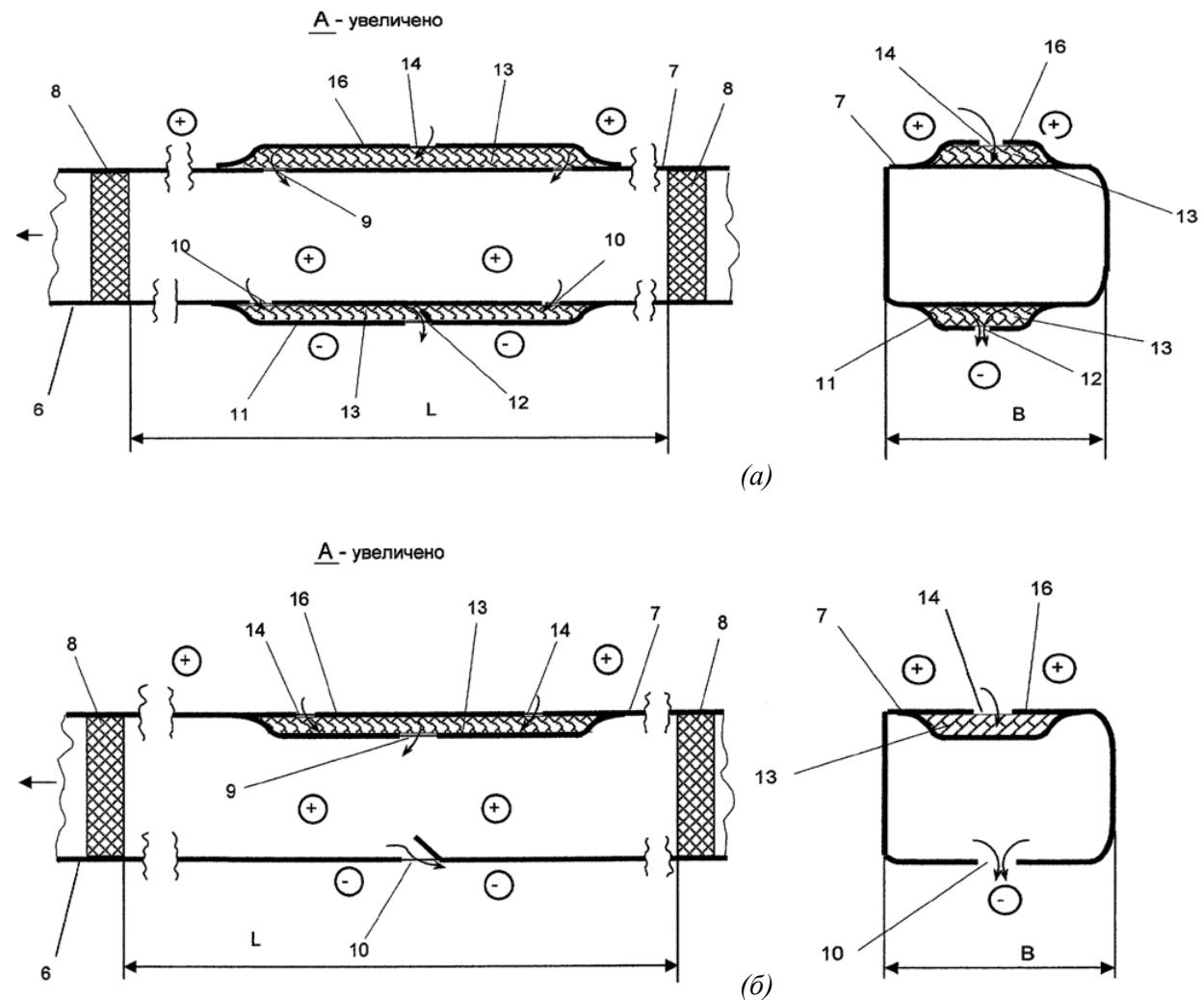


Рис. 9.84. Схемы продольного и поперечного сечения различных вариантов исполнения пусто-теслых силовых элементов каркаса кузова (а, б):

7 – верхняя внутренняя стенка порога кузова; 8 – акустическая (звукопоглощающая, звукоизолирующая) заглушка; 9 – перепускное отверстие порога кузова; 10 – дренажное отверстие порога кузова; 11 – дренажный эжектирующий канал в виде трубчатого элемента; 12 – внешнее отверстие дренажного эжектирующего канала; 13 – пористый поглотитель высокочастотного звука; 14 – верхнее отверстие перепускного воздушного канала; 16 – перепускной воздушный канал в виде трубчатого элемента; «+» – избыточное давление воздуха в пространстве пассажирского помещения кузова; «-» – по-нижнее давление воздуха, образуемое под поверхностью стенки пола (порога) кузова движущегося транспортного средства (легкового автомобиля)

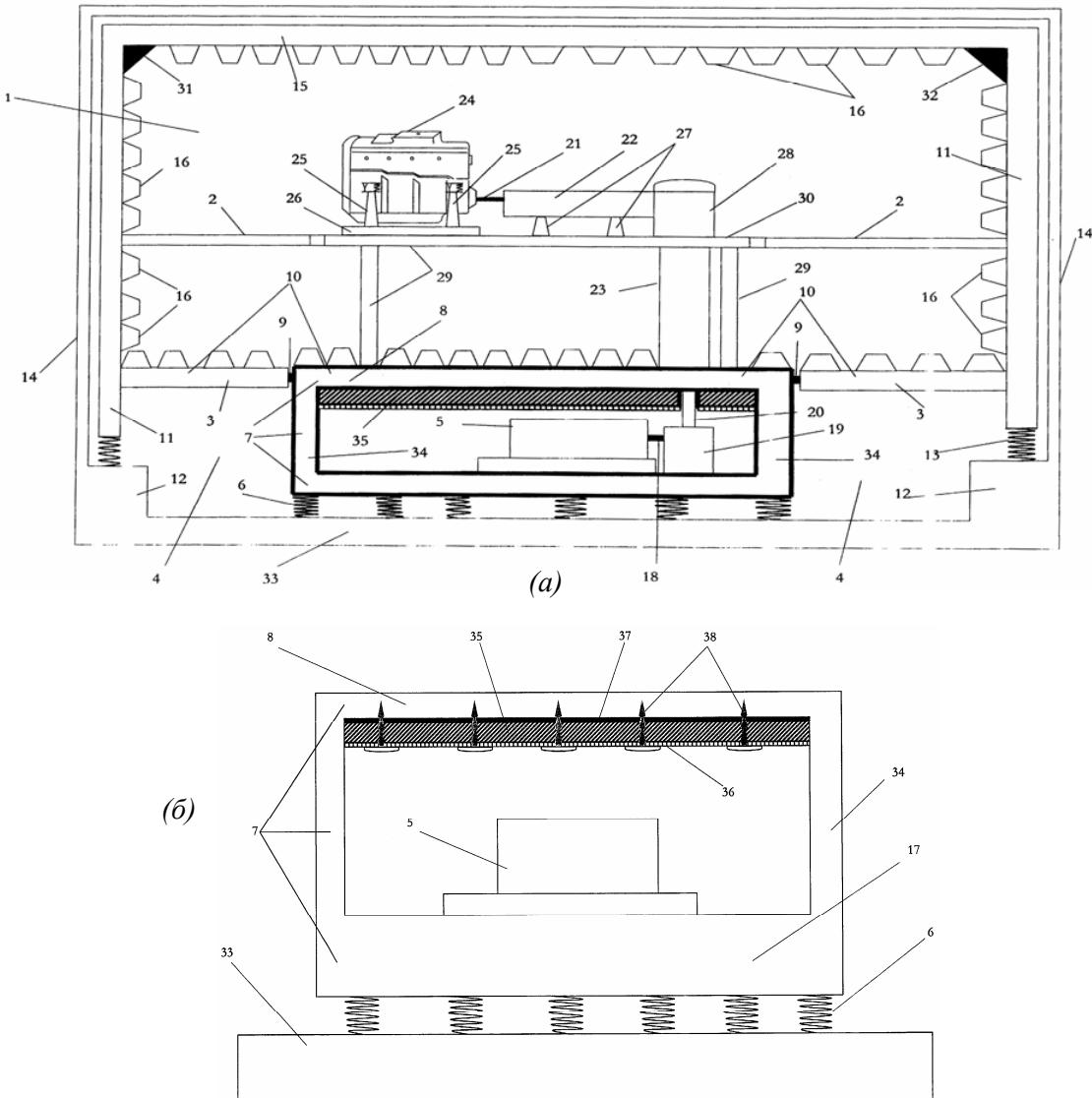


Рис. 9.85. Схема низкошумного стенда для исследования и доводки ДВС, установленного в пространстве безэховой акустической камеры (а), и фрагмент одного из элементов его конструкции (б):

1 – «рабочее» пространство безэховой акустической камеры; 2 – звукопрозрачный пол; 3 – пол, разделяющий пространство безэховой акустической камеры и машинного отделения; 4 – машинное отделение; 5 – приводная балансирная асинхронная машина; 6, 13 – виброизолирующие пружины; 7 – автономный пустотелый фундамент; 8 – верхняя плита фундамента; 9 – виброшумоизолирующий уплотнитель; 10 – герметичная разделительная перегородка; 11 – внутренняя бетонная оболочка; 12 – периметрические зоны пола; 14 – внешняя бетонная оболочка; 15 – потолок безэховой акустической камеры; 16 – звукопоглощающие кулисы; 17 – основание фундамента 7; 18 – нижний вал; 19 – корпус нижнего подшипникового узла; 20 – приводной ремень стенда; 21 – верхний вал; 22 – защитный кожух; 23 – защитный шумоизолирующий кожух; 24 – исследуемый ДВС; 25 – вертикальные стойки системы крепления; 26 – продольные балки системы крепления; 27 – стойки защитного кожуха 22; 28 – корпус верхнего подшипникового узла; 29 – несущий силовой каркас; 30 – рама несущего сило-вого каркаса; 31, 32 – приточная и вытяжная вентиляция камеры; 33 – бетонный пол внешней оболочки камеры; 34 – монолитные колонны верхней бетонной плиты; 35 – слой пористого звукопоглощающего материала; 36 – термостойкая звукопрозрачная фольга; 37 – kleевой адгезионный слой; 38 – механические крепежные элементы

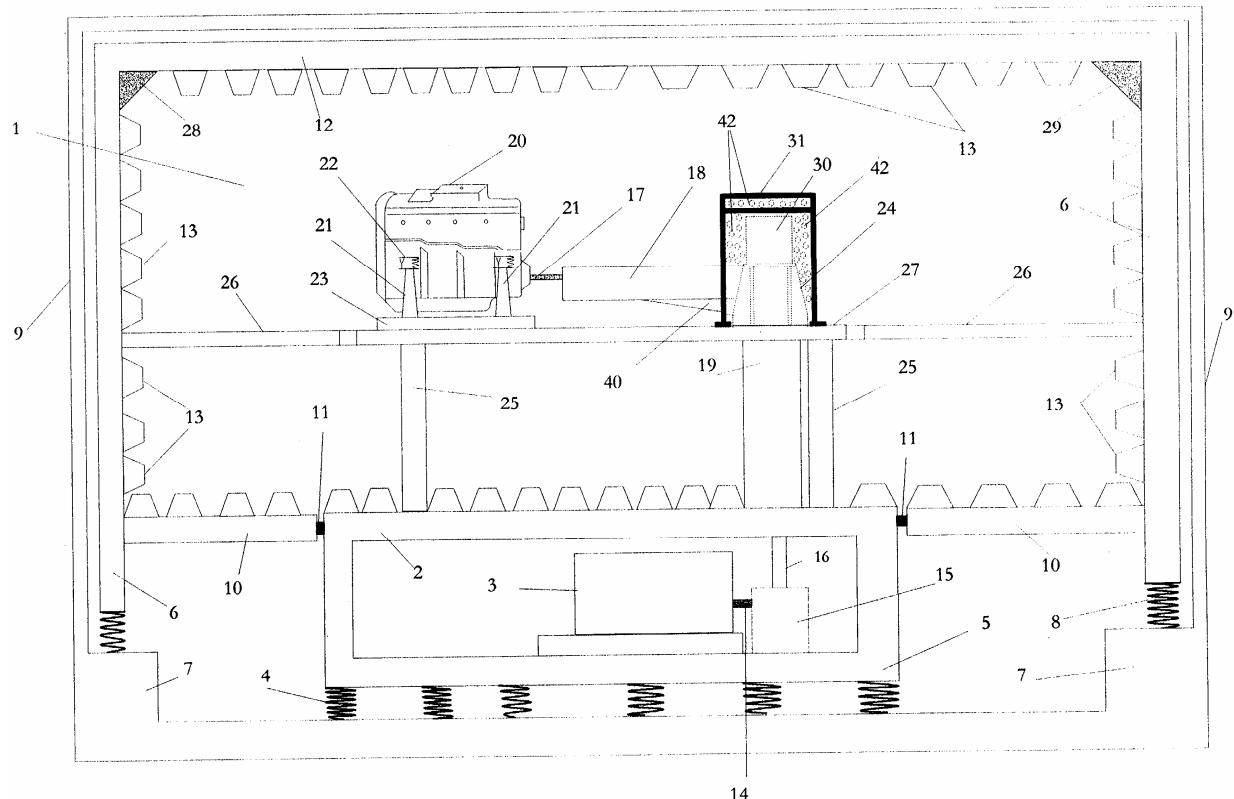


Рис. 9.86. Акустический моторный исследовательский стенд, установленный в пространстве безэховой акустической камеры:

1 – «рабочее» пространство безэховой акустической каме-ры; 2, 10 – поверхность пола камеры;  
 3 – приводная балансирная асинхронная машина; 4, 8 – виброизолирующие пружины;  
 5 – автономный фундамент; 6 – внутренняя бетонная оболочка; 7 – периметрические зоны пола;  
 9 – внешняя бетонная оболочка; 11 – резиновые уплотнители; 12 – поверхность потолка;  
 13 – звукоглощающие кулисы; 14 – нижний вал; 15 – корпус нижнего опорного подшипникового узла;  
 16 – приводной ремень стендса; 17 – верхний вал; 18, 19 – защитный кожух; 20 – исследуемый ДВС; 21 – вертикальные стойки системы крепления; 22 – резино-металлические упругие опоры;  
 23 – продольные балки системы крепления; 24 – корпус верхнего подшипникового узла;  
 25 – несущий силовой каркас; 26 – звукопрозрачные решетки; 27 – несущая рама силового каркаса;  
 28 – приточная вентиляция камеры; 29 – вытяж-ная вентиляция камеры;  
 30 – металлическая крышка; 31 – акустическая капсула «плавающего» типа;  
 40 – кронштейн защитного кожуха 18; 42 – объемный поглотитель звука

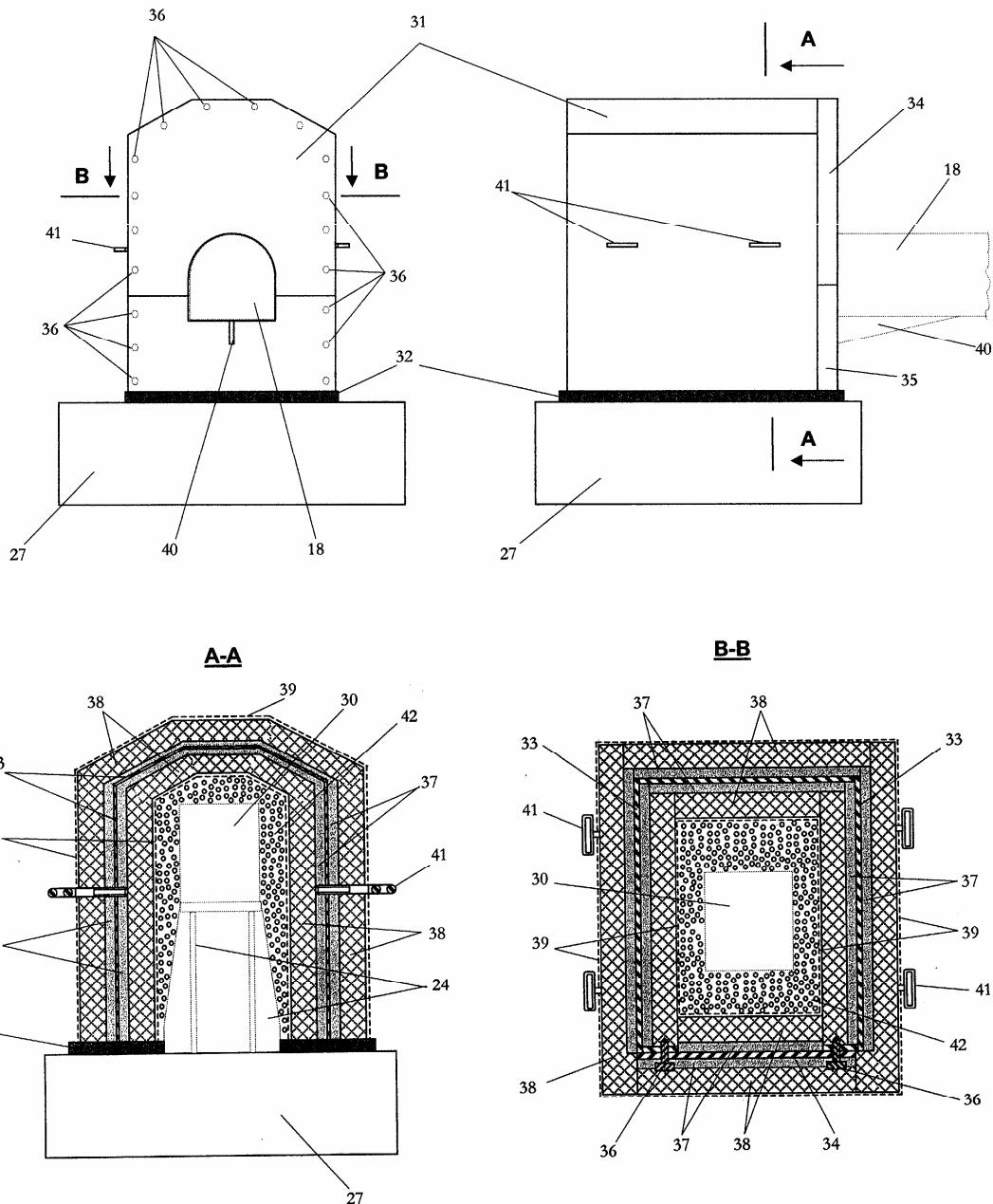


Рис. 9.87. Фрагмент акустического моторного исследовательского стендa:

18 – защитный кожух; 24 – корпус верхнего подшипникового узла; 27 – несущая рама силового каркаса; 30 – металлическая крышка; 31 – акустическая капсула «плавающего» типа; 32 – упругая резиновая подложка; 33 – тонкостенный металлический каркас; 34, 35 – верхняя и нижняя съемные металлические крышки; 36 – крепежные винты; 37 – слой вибродемптирующего материала; 38 – слой пористого звукопоглощающего материала; 39 – защитный звукопрозрачный слой; 40 – кронштейн защитного кожуха (18)

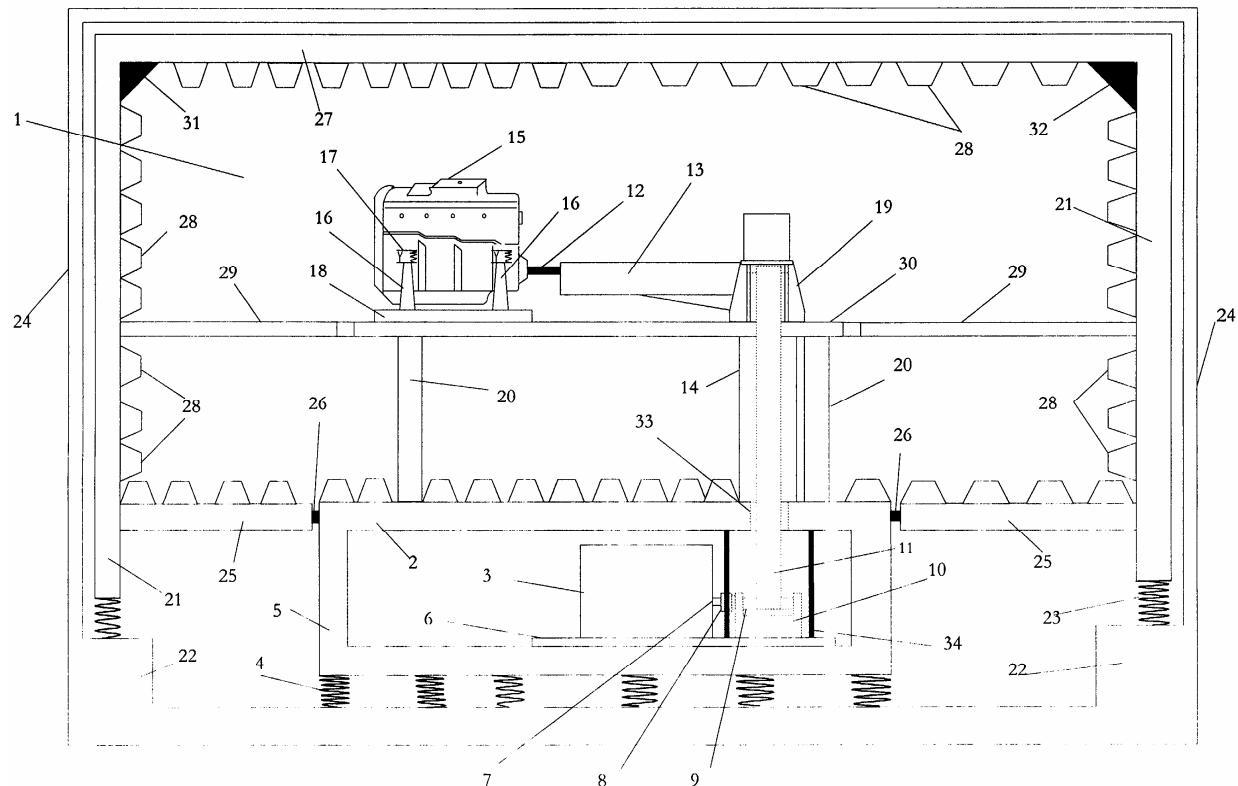


Рис. 9.88. Схема низкошумного моторного исследовательского стендса,  
 установленного в про-странстве безэховой акустической камеры:

- 1 – «рабочее» пространство безэховой акустической камеры; 2 – поверхность пола камеры; 3 – приводная балансирная асинхронная машина; 4 – виброизолирующие пружины; 5 – автономный фундамент; 6 – монтажная плита; 7 – выходной вал; 8 – соединительная муфта; 9 – нижний приводной вал; 10 – нижний опорный под-шипниковый узел; 11 – приводной ремень; 12 – верхний приводной вал; 13, 14 – защитный кожух; 15 – исследуемый ДВС; 16 – вертикальные стойки системы крепления; 17 – резино-металлические упругие опоры; 18 – продольные балки системы крепления; 19 – основание корпуса верхнего опорного подшипникового узла; 20 – несущий силовой каркас; 21 – внутренняя бетонная оболочка; 22 – периметр пола; 23 – несущие опорные пружины; 24 – внешняя бетонная оболочка; 25 – пол камеры; 26 – резиновые уплотнители; 27 – потолок камеры; 28 – звукопоглощающие кулисы; 29 – внутренний пол камеры, составленный из звукопрозрачных решеток; 30 – несущая рама; 31 – приточная вентиляция камеры; 32 – вытяжная вентиляция камеры; 33 – технологический проем; 34 – съемные шумоизолирующие кожухи

Патент РФ на полезную модель RU 23682  
 «Низкошумный моторный  
 исследовательский стенд» (продолжение)

Авторы: Прохоров С.П.,  
 Фесина М.И., Дерябин И.В.

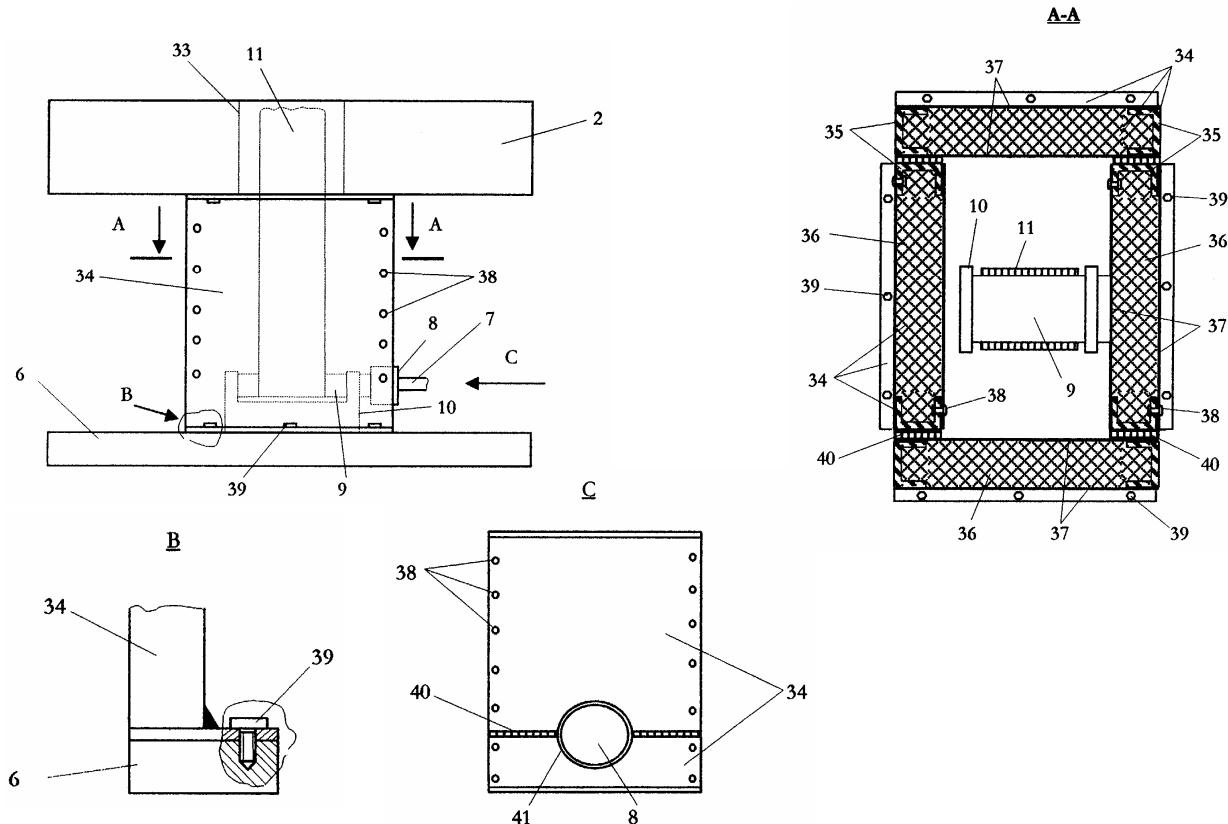


Рис. 9.89. Фрагмент конструкции низкошумного моторного исследовательского стендса:  
 2 – пол акустической камеры; 6 – монтажная плита; 7 – выходной вал; 8 – соединительная муфта;  
 9 – нижний приводной вал; 10 – нижний опорный подшипниковый узел; 11 – приводной ремень  
 стендса; 34 – съемные шумоизолирующие кожухи; 35 – металлический каркас П-образного профиля;  
 36 – панель из пористого звукоглощающего материала; 37 – металлический перфорированный  
 лист; 38 – клепочное соединение; 39 – болтовое соединение; 40 – упругий резиновый уплотнитель

**Патент РФ на изобретение RU 2268374**

«Глушитель шума выхлопа двигателя внутреннего сгорания»

Авторы: Старобинский Р.Н.,  
Фесина М.И.

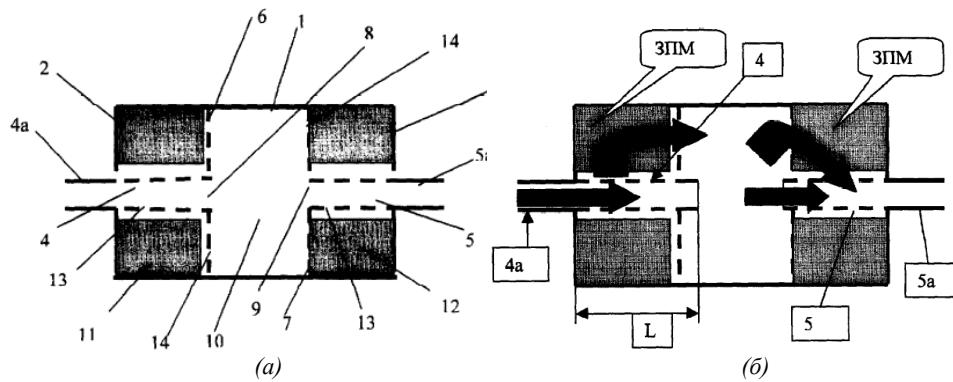


Рис. 9.90. Вариант конструктивного исполнения трехкамерного глушителя шума (а), принципиальная схема передачи через него звуковых колебаний (б):

1 – цилиндрический корпус; 2, 3 – торцевые стенки корпуса; 4, 5 – соосные впускные и выпускные патрубки; 4а, 5а – соосные впускные и выпускные трубы; 6, 7 – поперечные перфорированные перегородки; 8, 9 – свободные срезы впускной и выпускной труб; 10 – центральная камера глушителя; 11, 12 – боковые камеры; 13, 14 – отверстия перфорации; 3ПМ – пористый (волокнистый, вспененный) звукопоглощающий материал

**Патент РФ на изобретение RU 2217726**

«Низкошумный стенд для акустических исследований двигателей внутреннего сгорания (ДВС)»

Авторы: Прохоров С.П.,  
Фесина М.И., Дерябин И.В.

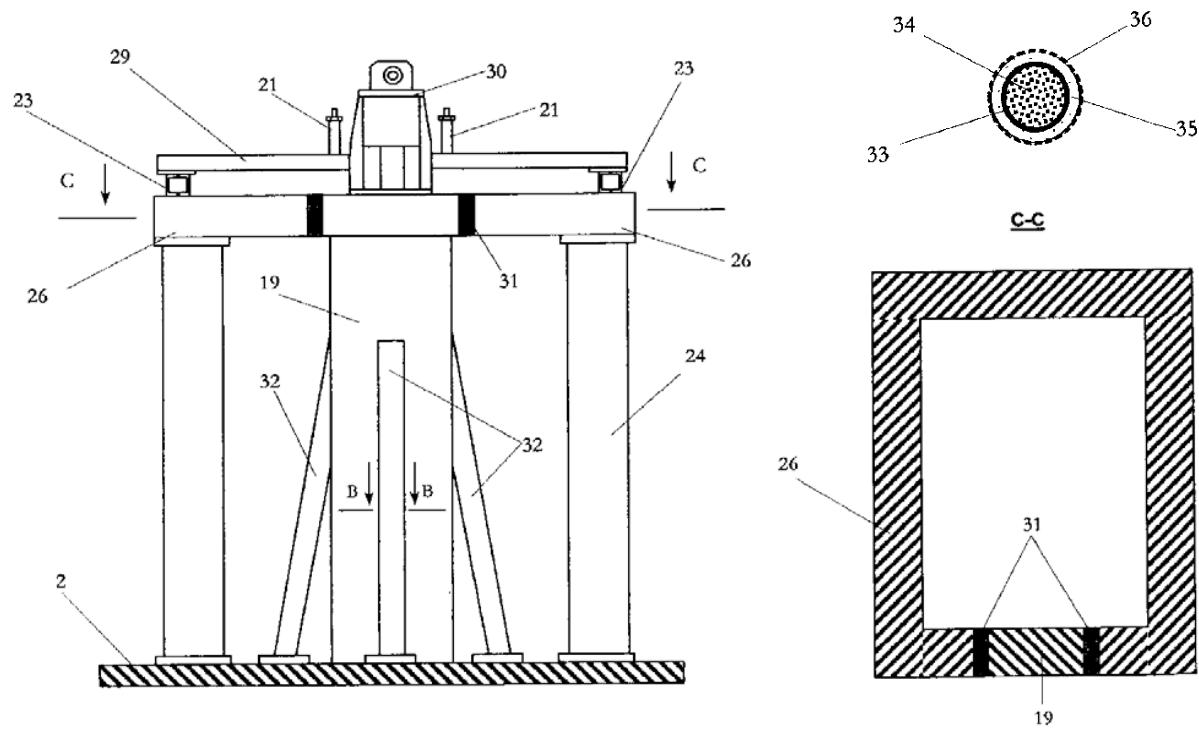


Рис. 9.91. Фрагмент конструкции низкошумного стенда для акустических исследований ДВС:

2 – бетонный пол приводной балансирной машины; 19 – защитный кожух приводного ремня; 21 – вертикальные стойки системы крепления ДВС; 23 – продольные направляющие системы крепления ДВС; 24 – несущий силовой каркас; 26 – рама несущего силового каркаса; 29 – поперечные направляющие; 30 – корпус верхнего опорного приводного подшипникового узла; 32 – трубчатые опорные стойки 33; 34 – сыпучее виброшумодемпфирующее вещество; 35 – пористый звукопоглощающий материал; 36 – защитная газовлагонепроницаемая звукоизолирующая пленка

**Патент РФ на полезную модель RU 26130**  
**«Стенд для акустических исследований**  
**силового агрегата транспортного средства»**

Авторы: Прохоров С.П.,  
 Фесина М.И., Дерябин И.В.

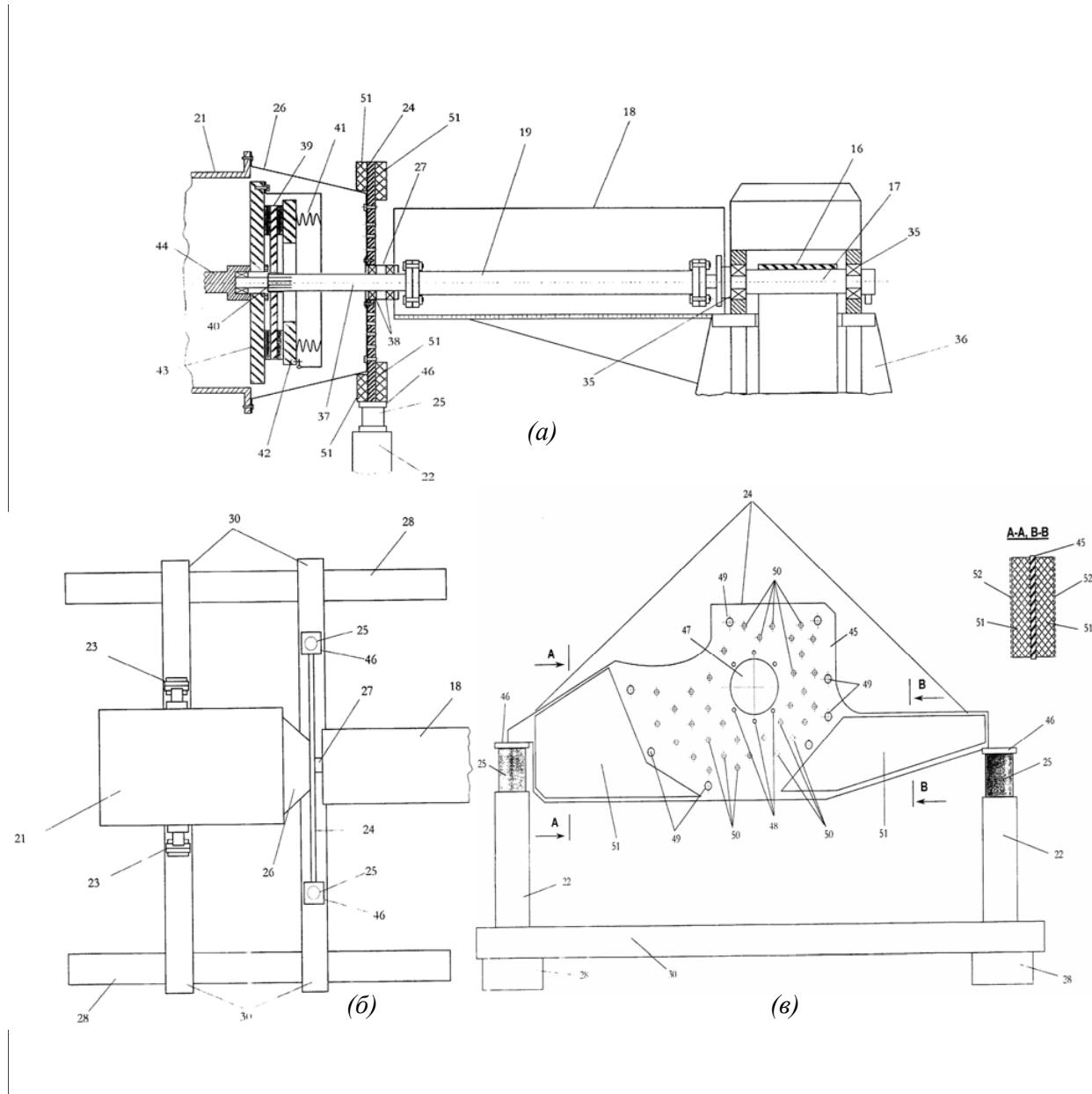


Рис. 9.92. Схема механического привода стенда для акустических исследований силового агрегата (а) и отдельные узлы конструкции стенда (б, в):  
 16 – приводной ремень; 17 – верхний вал; 18 – защитный кожух; 19 – промежуточный карданный вал; 21 – силовой агрегат; 22 – верти-кальные стойки системы крепления; 23, 25 – резино-металлические упругие опоры; 24 – стеновая задняя опора; 26 – картер сцепления; 27 – корпус переходного опорного подшипникового узла; 28 – продольные направляющие; 30 – поперечные направляющие; 35, 38 – опорные шариковые подшипники; 36 – верхний опорный подшипниковый узел; 37 – специальный вал; 39 – ведомый диск сцепления; 40 – щели; 41 – нажимная пружина; 42 – ведущий диск сцепления; 43 – маховик; 44 – коленчатый вал ДВС; 45 – двухплечевая металлическая плита; 46 – кронштейн; 47, 48, 49 – коммуникационные отверстия; 50 – разгрузочные компенсирующие отверстия; 51 – слой пористого звукопоглощающего материала; 52 – защитный звукоизоляционный газовлагонепроницаемый слой

## 10. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМУ КУРСУ «ПРОМЫШЛЕННАЯ АКУСТИКА»

1. В чем заключается принципиальное различие между техническими терминами *звукопоглощение* и *звукопоглощаяция* и, соответственно, между понятиями *звукопоглощающие материалы и конструкции* и *звукопоглощающие конструкции*?
2. С какой целью в состав структур звукопоглощающих материалов вводятся вещества *антитицерены*?
3. Какие имеются принципиальные отличия между *плоской* и *сферической* *волной* распространения звуковой энергии, а также между *свободно бегущей* и *стоячей волнами*?
4. Дайте определение термина *время реверберации* звуковой волны.
5. В чем суть требований и какие пути практического использования *вторичной утилизационной переработки шумопонижающих деталей и узлов*, демонтированных с автотранспортных средств, завершивших свой жизненный цикл?
6. Какими физическими параметрами звуковой энергии формируется показатель *громкость*?
7. Указать на отличия физических параметров *звуковое давление* и *гидродинамическое давление*. В чем суть различий параметров *ближнего гидродинамического поля* и *далекого звукового поля*?
8. В чем заключается отличие термина *уровень звукового давления* и термина *уровень звука* (уровень шума)?
9. Какие физические процессы распространения звуковых волн сопровождают механизм их *дифракции*?
10. Охарактеризуйте классический излучатель *акустический диполь* и укажите, какие типичные излучатели звуковых волн в автотранспортных средствах могут быть аппроксимированы излучателями дипольного типа.
11. Какими физическими параметрами излучателя звука и среды распространения определяется *длина звуковой волны*.
12. Характеристики *диффузного звукового поля* и его отличия от характеристик *свободного звукового поля*.
13. В чем состоит отличие затухания (ослабления) звука, происходящего в соответствии с законом *обратных квадратов*, *сферической звуковой волны*, излучаемой пульсирующей сферой (акустическим монополем), от энергетического затухания *цилиндрической звуковой волны*, излучаемой линейным источником, в условиях их распространения в неограниченном пространстве?
14. В чем заключается эффект ослабления передачи звуковой энергии согласно *закону массы* для перегородок, помещенных в пространство распространения звуковых волн?

15. В чем может заключаться необходимость проведения процедуры частичного вакуумирования пористых структур звукопоглощающих материалов и какие при этом существуют конструктивные и технологические ограничения практических (промышленных) разработок такого типа звукопоглощающих панелей?
16. В чем заключается принципиальное отличие показателей звукопоглощающих свойств материалов, оцениваемых по *нормальному и реверберационному* коэффициентам звукопоглощения?
17. По каким физическим (техническим) причинам экспериментально измеренное значение реверберационного коэффициента звукопоглощения может принимать значение, превышающее 1,0?
18. Что собой представляет оценочный параметр звукопоглощающих свойств материалов и конструкций *эквивалентная площадь звукопоглощения*? В каких случаях данный оценочный параметр целесообразно (необходимо) применять в качестве альтернативы к *реверберационного коэффициента звукопоглощения*?
19. По какой причине в процессе измерения реверберационного коэффициента звукопоглощения торцевые поверхности плосколистовых образцов звукопоглощающих материалов перекрываются плотными звукоотражающими пластинаами или герметизируются самоклеющейся плотной звукоотражающей лентой?
20. Каким образом в выражении, определяющем *реверберационный коэффициент звукопоглощения* образцов плосколистовых звукопоглощающих материалов, учитывается *дифракционное поглощение* звуковой энергии на свободных торцевых зонах образцов? Укажите частотный диапазон квалификационных измерений и допустимых предельных габаритных размеров образцов плосколистовых звукопоглощающих материалов, подвергаемых испытаниям в *малой реверберационной камере «Кабина Альфа»*, используемой в автомобильной индустрии в качестве нормативного и исследовательского инструментального измерительного средства?
21. Перечислите физические параметры среды распространения звуковых волн, которые влияют на *скорость звука*?
22. Какими факторами обусловлен процесс более интенсивного поглощения энергии высокочастотного звука по отношению к низкочастотному звуковому излучению при его распространении в одной и той же вязкоупругой среде?
23. Опишите механизмы генерирования и распространения *упругих структурных волн – изгибных, сдвиговых, сжатия-растяжения* – при функционировании виброактивных узлов и механизмов машин.
24. Перечислите, в каком виде могут формироваться и распространяться в акустическом волноводе звуковые волны?
25. Перечислите типичные излучатели звука шумоактивных технических объектов, которые могут быть аппроксимированы акустическими диполями, дайте определение акустического диполя. *Вертикальные и горизонтальные акустические диполи* и их «поведение» при расположении вблизи «жесткой» и «мягкой» стенок.
26. Перечислите технические приемы формирования однородного диффузного звукового поля в замкнутых объемах ограниченных жесткими стенками типа реверберационной акустической камеры.
27. Свойства звукопрозрачности составных слоев материалов и конструкций узлов и механизмов машин. Охарактеризуйте практические приемы увеличения и/или

- уменьшения свойств звукопрозрачности в зависимости от конкретных технических задач улучшения акустических характеристик механизмов и машин.
28. Что собой представляют устройства комбинированных звукопоглотителей? Решаемые технические задачи и принципы конструктивно-технологического построения комбинированных звукопоглотителей.
  29. Раскройте физический смысл понятий: *акустический импеданс, входной акустический импеданс и импеданс стенки*.
  30. Дайте определение и раскройте физический смысл параметра *критическая частота* звуковых колебаний.
  31. Опишите критерии и перечислите типы *конструкционных акустических материалов*.
  32. Классификация типов *вибродемпфирующих материалов*, их отличительные признаки и особенности применения.
  33. Перечислите технические функции и особенности исполнений *внешнего покрытия звукопоглощающего материала*.
  34. Какие технические характеристики акустических материалов преимущественно формируют свойства многофункциональности деталей и узлов машин?
  35. Назовите технические особенности и преимущества использования акустических материалов типа «ультралайт».
  36. Перечислите негативные и позитивные свойства эффекта «*маскировка звука*», учитываемые (используемые) при разработках конструкций комфортно-безопасных механизмов и машин.
  37. Опишите технологическую процедуру использования оценочного параметра «*индекс артикуляции*» для квалификации достигаемого акустического комфорта в кабинах водителей (пассажирских помещений) АТС с помощью объективных инструментальных (измерительных) средств.
  38. Укажите преимущества, недостатки и особенности использования экспериментальных измерений акустических характеристик материалов с помощью инструментария *реверберационной, полубезэховой и безэховой акустических камер*.
  39. Укажите на различия понятий технических параметров акустических материалов: *коэффициент звукопоглощения, реверберационный коэффициент звукопоглощения, нормальный коэффициент звукопоглощения*.
  40. Что собой представляет технический параметр *«коэффициент перфорации»* и каким образом он учитывается в процессах проектирования рациональных шумозаглушающих конструкций узлов и систем механизмов и машин?
  41. Приведите примеры использования *звукопоглощающих резонаторных конструкций неперфорированного и перфорированного типа* в составе низкошумных механизмов и машин.
  42. Приведите примеры *когерентных и некогерентных колебаний*, реализующихся в типичных виброшумогенерирующих технических объектах.
  43. Шумоизолирующие кожухи: принципы конструирования, технические требования.
  44. Дайте определение термина *фаза* колебаний (механических, звуковых).
  45. Дайте определение термина *фактор направленности* звукового излучения.
  46. Дайте определения *частоты, фазы и формы колебаний, волнового числа и волнового фронта*.

47. Охарактеризуйте виды шумовых сигналов: *случайный шум, белый шум, розовый шум, широко- и узкополосный шум, внутренний и внешний шум автотранспортных средств.*
48. Перечислите назначения *армирующего слоя* в структурных составах различного типа многослойных акустических материалов (вибродемпфирующих, звукопоглощающих, звукоизолирующих).
49. Дайте определение технического параметра *«сопротивление излучения источника звука»* и укажите его взаимосвязь с излучаемой источником акустической мощностью.
50. Назовите различия свойств, физических и структурных параметров *изотропной* и *анизотропной* упругих сред.
51. Укажите назначение и типичные зоны установки на автотранспортных средствах *термоакустических экранов, термоакустических пробок, аэроакустических экранов.*
52. Опишите устройство, назначение и принцип действия *акустического интерферометра «Труба Кундта».*
53. Охарактеризуйте устройство, назначение и принцип действия *лабораторно-стеновой акустической установки «Малая Кабина».*
54. Дайте характеристику устройства, назначения и принципа действия лабораторно-стеновой акустической установки *«Кабина Альфа».*
55. Каковы основные конструктивные и функциональные различия между виброшумодемпфирующими, шумопоглощающими и шумоизолирующими прокладками кузовных панелей автотранспортных средств?
56. Дайте определение технических терминов *акустическая проводимость* и *удельная акустическая проводимость* и укажите на их отношение к техническим терминам *акустический импеданс* и *акустическое сопротивление*.
57. Что собой представляют физические параметры – *колебательная (акустическая) пучность и узел?*
58. В чем суть явления *акустической релаксации* и какими энергетическими процессами оно сопровождается?
59. Какими физическими явлениями характеризуется состояние колебательного акустического процесса *резонанс совпадений* и какие известны используемые технические приемы воздействия (управления) указанным динамическим процессом?
60. *Акустические резонаторы* в качестве частотно-настроенных устройств заглушения шумовых излучений в транспортных средствах. Укажите наиболее распространенные используемые типы акустических резонаторов и типичные места их установки (компоновки) на автотранспортных средствах.
61. *Реверберация звука*, принципы возникновения, способы управления, позитивные и негативные проявления реверберации звука в различных технических объектах и строительных сооружениях.
62. Дайте определение технического термина *пористость* в отношении *пористой вязкоэластичной структуры* акустического материала. *Открыто- и закрытоячеистые вспененные акустические материалы*, их поведение в отношении процессов эффективного поглощения звуковой энергии.
63. Опишите *поглотители звука объемного типа* (пустотельные резонаторы): механизм их функционирования, на котором базируется процесс поглощения энергии звуковых волн, *резонатор Гельмгольца*, представьте выражение по определению резонансной частоты резонатора Гельмгольца.

64. Каковы фазовые соотношения параметров *колебательного давления и колебательной скорости* в упругой однородной изотропной среде ближнего гидродинамического и свободного (дальнего) звукового полей?
65. *Мембранные (панельные) поглотители звука*. Дайте определение резонансной частоты мембранного поглотителя. Укажите на физические и конструктивные параметры управления резонансной частотой и коэффициентом звукопоглощения мембранного звукопоглотителя.
66. *Звукопрозрачные защитные и/или декоративные покрытия* пористых структур звукопоглощающих материалов.
67. *Динамическая податливость* упругой (механической, гидродинамической) системы, среды, материала, конструкции.
68. Механизмы и разновидности *диссипативных потерь* энергии звуковых волн при их распространении в пористых структурах материалов и конструкций машин.
69. Приведите примеры технических описаний *многофункциональных обивок* кузова автотранспортных средств, выполняющих выраженные акустические функции.
70. Дайте определения терминов: *октава, октавная полоса частот, «третьоктавная полоса частот, среднегеометрического значения частоты колебаний в октавной полосе частот*.
71. Приведите типичные примеры целенаправленного использования *перфорированных элементов* деталей, систем и механизмов машин для улучшения их виброакустических качеств.
72. Назовите международные стандарты (*правила ЕЭК ООН, ИСО*), регламентирующие акустические характеристики узлов, агрегатов и систем автотранспортных средств.
73. Какими основными факторами предопределяется величина *волнового сопротивления* прохождению звуковых волн через структуру тканевого (нетканого полотна) облицовочного покрытия пористого звукопоглощающего слоя материала в отношении рационального выбора его (покрытия) толщины, поверхностной плотности, числа нитей на единицу длины и ширины нити, плотности контакта облицовочного покрытия с внутренней поверхностью пористого звукопоглощающего слоя, *величин сопротивления продуванию воздушным потоком и удельной поверхностной массы*?
74. Раскройте основной механизм поглощения звуковой энергии при распространении звуковых волн в пористых (волокнистых) структурах, укажите долю термических потерь в общей величине затухания звуковой энергии.
75. Укажите известные зависимости параметров *сопротивления продуванию воздушным потоком* пористого волокнистого материала от диаметра волокон при неизменной объемной массе пористого звукопоглотителя, а также от направления воздушного потока – нормального к плоскости волокон и вдоль направления расположения волокон.
76. Перечислите не менее пяти основных направлений повышения звукопоглощающих свойств и пяти основных направлений повышения вибродемптирующих свойств материалов, используемых в шумопонижающих элементах конструкций деталей, механизмов и систем машин.
77. Укажите особенности конструктивных исполнений звукопоглотителей *объемного типа* применительно к *многофункциональным конструктивным элементам* для автотранспортных средств.

78. Опишите конструкции (конструктивные особенности) типичных *аэроакустических и термоакустических экраных элементов*, используемых на современных мотоциклах автотранспортных средств.
79. Опишите конструкции (типы и разновидности) *акустических капсул* силовых агрегатов автотранспортных средств.
80. *Объемные звукопоглощающие элементы, акустические кулисы*: эффективность, оценочные критерии, типичные примеры использования.
81. Последовательное и параллельное подсоединение акустических резонаторов в составе *модульной шумозаглашающей батареи*.
82. *Собственные акустические моды волноводов*: с открытыми, закрытыми жесткой крышкой (тупиковый волновод), закрытыми с двух сторон концевыми участками.
83. *Акустические экраны и выгородки*, располагаемые в закрытых помещениях и на открытых пространствах. Особенности конструкции, определяющие шумопонижающие эффекты.
84. *Звукоизолирующие (шумоизолирующие) кожухи* для промышленного оборудования и шумоактивных энергетических установок. Особенности проектирования и достигаемые шумопонижающие эффекты.
85. Концептуальные схемы и классификация *звукоизолирующих кабин* операторов шумоактивного производственно-технологического оборудования. Рекомендации по проектированию эффективных конструкций *звукоизолирующих кабин*.
86. Перечислите основные пути сокращения потерь звукоизоляции помещений внутри зданий от воздействия внешних виброакустических полей.
87. Назовите способы (технические приемы) и необходимую степень звукоизоляционной обработки стеновых конструкций помещений в зданиях, направленные на повышение акустического комфорта.
88. Влияние воздушного зазора (заклинного промежутка между тыльной поверхностью звукопоглощающего клина (звукопоглощающей кулисы) и поверхностью стеновой конструкции помещения на степень поглощения звуковой энергии в области низких, средних и высоких частот звукового диапазона.
89. Каким образом можно избежать образования *стоячих волн* в замкнутом ограниченном объеме (расширительной камере промышленной установки, производственном, бытовом, жилом, общественном помещении)?
90. Раскройте физические принципы усиления звукоизоляции в низкочастотной области звукового диапазона при использовании *структурированных многослойных материалов и шумоизолирующих конструкций* по отношению к монолитным однослойным материалам и конструкциям.

## 11. ПРИМЕРЫ ОТВЕТОВ НА КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

*1. Использование различных отделочных полотен для автомобильных деталей интерьера с пористой звукопоглощающей структурой типа трикотажа, нетканых иглопробивных и холстопрошивных полотен. Каким из них следует отдать предпочтение с точки зрения обеспечения наиболее эффективного шумопоглощения?*

Общая абстрактная постановка вопроса не позволяет получать однозначные ответы ввиду большого количества факторов, связанных с применением перечисленных типов отдельных полотен. Каждое из них (их физико-механические свойства) может варьироваться в весьма широких диапазонах. Могут применяться как различные отделочные материалы, так и разные технологии их «технологических сшивок» с сопрягаемым пористым звукопоглощающим слоем. При этом существенны физико-механические свойства сопрягаемого с отделочными полотнами пористого звукопоглощающего слоя детали интерьера автомобиля. В частности, весьма важным является рациональный подбор конкретного типа (марки) клеевого монтажного вещества и способа его нанесения на монтажную сторону облицовочной (защитной, декоративной) поверхности для обеспечения свойств звукопрозрачности покрытия. Выбор звукопрозрачной футеровки звукопоглощающей панели (обивки), который помимо требуемых адгезионных свойств должен обеспечивать свойства приемлемой звукопрозрачности с минимизированным отражением энергии распространяемых звуковых волн через образованный адгезионный барьер. Необходимо исключать появление ужесточённой (уплотненной) прослойки (тонкого слоя жёсткой корки адгезионного вещества) в зоне сопрягаемой поверхности пористого слоя звукопоглощающего материала, которая затруднит свободное распространение звуковых волн в пористую структуру материала панели (обивки). В противном случае произойдет скачкообразное рассогласование волновых сопротивлений в среде распространения звуковых волн по толщине слойной структуры пористого звукопоглощающего материала. Отмечается увеличение динамической жёсткости в зоне встречной поверхности сопрягаемой прослойки и возрастание сопротивления продуванию воздушным потоком такого типа звукопоглощающей структуры с уменьшенной пористостью. В определённых пределах управлению звукопоглощающими качествами такого типа слоистых сопрягаемых поверхностных элементов способствует обеспечение чередующихся плотных и неплотных контактных участков слоя звукопоглотителя с облицовочным покрытием. Волновое сопротивление прохождения звука через тканевое облицовочное покрытие является функцией частоты звука и физико-механических параметров ткани: толщины ткани, поверхностной плотности ( $г/см^2$ ), числа нитей на единицу длины и ширины нити. Плотность контакта такого облицовочного покрытия со встречной поверхностью пористой звукопоглощающей панели играет весьма существенную роль в формировании суммарного волнового сопротивления образованной слоистой структуры. Применение технологий «сшивок» сопрягаемых поверхностей пористого и облицовочного слоёв с использованием звукопрозрачных термоадгезивов

(перфорированных плёнок, «волокнистых паутинок», поверхностью распределённых обособленных термоплавких порошкообразных частиц и т. п.), является более предпочтительным по отношению к технологическому варианту использования плотного сплошного поверхностно-контактного сопряжения пористого и облицованного слоёв. Тем самым обеспечивается улучшение звукопоглощающих свойств образуемых слоистых звукопоглощаемых структур панелей (обивок). Сами структуры облицовочных плёночных или тканевых покрытий пористых звукопоглощающих материалов (волокнистых, вспененных) должны обладать свойствами звукопрозрачности, ткани должны иметь низкое сопротивление продуванию воздушным потоком ( $20\ldots60\text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^3$ ), а плёнки — малую удельную поверхностную массу ( $40\ldots300\text{ г}/\text{м}^2$ ). В это же время, использование, например, технологий «экологически грязного» огневого метода сшивки с применением защитного облицовочного плёночного слоя (лавсановой, алюминизированной полиэстеровой плёнки и т. п.) является нежелательной технологической процедурой, связанной с процессом оплавления сопрягаемого поверхностного слоя открытого ППУ связано не только с выделением с поверхностью плёночного слоя. Оплавление структуры ППУ связано не только с выделением вредных веществ, но и образует жёсткую уплотненную прослойку, уменьшает пористость, что увеличивает звукоотражение и, соответственно, ухудшает звукопоглощение.

Таким образом, обладая определённым набором различного типа пористых звукопоглощающих материалов (различной толщины, пористости, сопротивления продуванию воздушным потоком, отличающегося структурного и химического состава и т. д.) и применяя определённый набор различного (конкретного) типа отделочных полотен (различного структурного состава, толщины, пористости, сопротивления продувания воздушным потоком и т. д.), с использованием соответствующих адгезионных материалов и технологических процедур сшивок слоёв пористого звукопоглощающего и облицовочного слоёв возможно проводить рациональный выбор технологических приемов производства тех или иных звукопоглощающих структур материалов обивок (панелей). По прагматичным соображениям должны исследоваться лишь те сочетания материалов и технологий, которые могут быть практически реализованы в производстве. Минимизируя число отличающихся параметров физико-механических свойств сопрягаемых слоёв материалов, при использовании одних и тех же адгезионных веществ и технологий «сшивки» слоёв, можно определять акустические потенциалы улучшения (ухудшения) звукопоглощающих свойств перечисленного типа облицовочных полотен.

## **2. Целесообразность изготовления сборных акустических модулей**

Применение интегральных деталей (сборных модулей), включающих несколько составных деталей различного функционального назначения (звукопоглощающих, звукоизолирующих, термоизолирующих, уплотнительно-герметизирующих, декоративных, несущих и пр. элементов), объединённых в единый сборочный модуль, представляет перспективное направление развития технологий сборки легковых автомобилей. В особенности это относится к применению интегральных (псевдоинтегральных) ковров пола (ковровые покрытия, блокированные с шумоизоляционными панелями ограниченных размеров), обивок крыши (многофункциональный модуль, включающий декоративные, акустические, несущие, безопасностные и прочие элементы), полок багажника со смонтированными электроакустическими излучателями аудиосистем и т. д.

### **3. Влияние расположения волокон (хаотичное или упорядоченно направленное) в структуре пористой панели (обивки, прокладки, матра) на ее акустические характеристики**

Как известно, волокнистые поглотители энергии звуковых волн обладают, как правило, сквозной пористостью с размерами пор менее 1 мм. Внутри пор может распространяться звук, затухающий из-за возникающих потерь. Все структурные величины (диаметр пор, волокон) очень малы по сравнению с длиной звуковых волн, что позволяет рассматривать эти материалы как однородную среду с внутренними потерями, характеризуемую *постоянной распространения* и определенным *волновым сопротивлением*. Акустическая анизотропия волокнистых поглотителей, обусловленная структурной неоднородностью, приводит к неоднородности в сопротивлении продуванию стационарным потоком воздуха, в показателях вязкости и термического затухания. Однако на указанные выше параметры – *постоянную распространения и волновое сопротивление* – влияние анизотропии весьма ограничено. Угловая зависимость этих величин практически компенсируется неоднородностью вязких и термических коэффициентов затухания и тем самым волокнистые поглотители в большинстве случаев можно с точностью, достаточной для практического применения, считать изотропными. Это же, кстати, относится и к большинству звукопоглотителей из открытоячеистых пенопластов. Механизм действия волокнистых звукопоглотителей заключается в следующем. Переменное звуковое давление в падающей на поверхность поглотителя звуковой волне приводит в возвратно-поступательное движение находящийся в порах воздух (на частоте колебаний звуковой волны). При обтекании волокон потоком воздуха возникают силы вязкого трения, а также потери, вызванные искривлением, изменением или увеличением протяжённости пор между волокнами. Это основные причины затухания звука при распространении поперёк волокон и на высоких частотах колебаний (высокочастотных звуковых волн). В поле звуковой волны воздух по-переменно (на частоте звуковой волны) сжимается и расширяется. При этом его температура изменяется. Вследствие хорошего контакта воздуха с большой поверхностью волокон и их относительно высокой теплопроводности на низких частотах колебаний наблюдается интенсивный теплообмен между воздухом и волокнами. Это приводит к изотермическому процессу сжатия воздуха (протекающему при постоянной температуре). На высоких частотах процесс, наоборот, становится адиабатическим (при котором отсутствует теплообмен между системой, совершающей процесс, и окружающей средой). Таким образом, теплообмена воздуха с волокном не происходит из-за слишком медленной теплопроводности при такой высокой скорости колебаний высокочастотного звука. При переходе из одного состояния в другую в результате теплообмена с волокнами возникают термические потери, которые особенно велики при распространении звука вдоль волокон. Доля термических потерь в общей величине затухания звуковой энергии достигает 40%. Существует также и третий механизм поглощения звуковой энергии пористым поглотителем, основанный на механических колебаниях образованного волокнами скелета материала, под действием сил трения воздуха. Известно, что упругие колебания волокон становятся заметными только на низких частотах (ниже 300 Гц). В связи с этим вряд ли следует ожидать резонанса всего скелета пористого материала в целом, так как структурные параметры материалов, такие как диаметр волокон, площадь и вид контактов волокон в сечении поглотителя, меняются в очень широких пределах. Поэтому большинство теорий звукопоглощения исходят из

предположения жёсткого скелета звукопоглощения. Такие значимые структурные параметры пористого поглотителя, как средний диаметр и распределение диаметров волокна, диаметр и распределение пор, являются случайными величинами, и могут быть определены только статистически средние значения величин. В то же время удельное сопротивление продуванию воздушным потоком является важнейшим параметром пористого поглотителя наряду с его объёмной массой, отличается до 10 раз и более – при одних и тех же значениях объёмной массы. Удельное сопротивление продуванию воздушным потоком очень сильно зависит от диаметра волокна (с увеличением среднего диаметра волокна при неизменной объёмной массе удельное сопротивление продуванию резко уменьшается). Сопротивление продуванию воздушным потоком, нормальным по отношению к плоскости волокон, в 3...4 раза превосходит сопротивление при потоке, направленном вдоль волокон. Трудности всех теорий звукопоглощения состоят в невозможности достаточно просто и точно установить взаимосвязи характеристик пористого поглотителя звуковой энергии. Попытки в наиболее полной степени учесть микроструктуру материала поглотителя (включая оптимизацию направленной ориентации волокон в его структуре) не увенчались успехом ввиду чрезвычайно сложных структурных и физических характеристик пористого материала. С учётом нахождения автомобильных пористых шумопоглощающих обивок (панелей, облицовок, прокладок) в диффузном реверберационном поле замкнутых ограниченных пространств пассажирского помещения (обивка крыши, полка багажника, обивки стоек), моторного отсека (обивка капота, обивка щитка передка, смонтированная со стороны моторного отсека, облицовка нижнего аэроакустического экрана моторного отсека) со случайным хаотичным всенаправленным пространственным углом падения звуковых волн на поверхности указанных обивок пространственно ориентированный характер расположения волокон в объёмном составе структур таких обивок, по-видимому, не имеет принципиального значения.

Наиболее часто применяемые в конструкциях АТС волокнистые звукопоглотители состоят из волокон диаметром примерно от 2 до 20 мкм (чаще всего от 4 до 10 мкм). Ориентация волокон в плоскости слоя (плиты) материала носит случайный характер. Структурная анизотропия плит волокнистого поглотителя приводит к акустической неоднородности свойств, которая характеризуется неоднородностью таких показателей, как сопротивление продуванию воздушным потоком, *декремент затухания акустических колебаний* для различных пространственных направлений. Однако на наиболее важные показатели – *волновое сопротивление и постоянную распространения – анизотропия* влияет очень слабо. Практически большинство волокнистых поглотителей можно рассматривать как *анизотропные*. Введение некоторого (10...30% массы волокна) количества наполнителя (например, крошки открытоячеистого ППУ), который более или менее равномерно распределён по объёму плиты, способствует *акустической изотропии* и увеличению потерь звуковой энергии в структуре такого материала.

## **12. ПЕРЕЧЕНЬ ИЗВЕСТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, ИЗОБРЕТЕНИЙ И ПОЛЕЗНЫХ МОДЕЛЕЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ШУМОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ**

**Пористые волокнистые звукопоглощающие набивки расширительных и резонаторных камер глушителей шума системы выпуска отработавших газов ДВС АТС:** WO 2004/099576, WO 2005/116409, WO 2007/061133, WO 2007/017317, WO 2008/117580, WO 2009/015797, WO 2009/016822, EP 0648923, EP 0778399, EP 1826369, EP 2000637, RU 43073, RU 43074, RU 43099, RU 43100, RU 47050, RU 47978, RU 52611, RU 53726, RU 55038, RU 73829, RU 2292467, RU 2298673, RU 2298672, RU 2299996, RU 2240428, RU 2241127, RU 2241126, RU 2306434, RU 62432, RU 1573223, RU 2011855, RU 2131519, RU 2268374, RU 2270987, RU 2270988, RU 2270989, US 5726398, US 2004/0003963, US 5400830, US 5563383, US 2009/0057055, US 2009/0045006, US 2008/0245606, US 2008/185218, US 2008/0173271, JP 2008/89272, DE 102004040583, DE 4032185, DE 2006/003265, DE 102008001390, DE 3826707, FR 2707341, FR 2916227, FR 2911165, GB 2256006, GB 2243187, GB 2146902, CA 2548760, DE 3149622, DE 112006003265, DE 102004040583, DE 102006033053, DE 4032185, RU 26595, RU 2298670, RU 2298669, RU 2298668, RU 2298667, RU 2298672, RU 2298673, RU 2298674, RU 2005139010/06, RU 2292467, RU 2298672, RU 2241126, RU 55038, RU 2299996, FR 2209405, FR 2707341, FR 2911165, FR 2925584, FR 2925580, US 2008/0185218, US 2008/0245606, US 2009/0057055, US 2004/0003963, US 2002/0079162, WO 2009/079402, WO 2004/099576, WO 2005/116409, ZL 200620110038, GB 2240364, WO 2007/11701, EP 2075426, FR 2909728, FR 2907514, FR 2909731, DE 102007046230, US 2009/0133659, DE 102007055482, WO 2006/047991, WO 2009/087270, RU 31403, RU 33978, RU 39649, RU 42070, RU 49906, RU 31403, RU 27408, GB 2143902, DE 2360044, US 6499561, DE 69829500, RU 2229996, WO 2008/034933, WO 2009/077431.

**Термоакустические экраны систем выпуска отработавших газов ДВС АТС:** WO 2006/076963, WO 00/46493, WO 01/78917, WO 2005/090068, WO 2006/039831, WO 2006/099913, WO 2007/085213, WO 2006/076963, WO 2006/033608, WO 2006/098694, EP 1146178, EP 1775437, EP 1908638, EP 0643203, EP 1561927, EP 1598808, EP 1690744, EP 1609681, EP 1702804, EP 1702803, RU 2159185, US 6613174, US 2006/0179827, US 2007/0098954, US 4390584, US 4390584, US 6268038, US 3960236, US 2008/0096451, US 2006/0194025, US 2006/0277864, US 6194052, US 5464952, JP 2004299605, JP 61002530, JP 2005-233039, JP 2005-248778, JP 62-2134, JP 9242561, DE 2006001654, DE 102004062331, DE 102005007245, DE 202006004489, DE 102005008667, DE 1112004002163, DE 10253832, DE 102004050649, FR 2694961, FR 2892679, FR 2663986, CA 2447069, US 2008/0096451, US 2006/0194025, US 2006/0277864, US 6194052, US 4022019, US 4085816, US 3863445, US 5464952, US 4433542, US 3908372,

US 4612767, US 4709781, US 5347810, US 6555246, US 6302466, WO 2008/022736, FR 2923069, FR 2923431, FR 2919532, FR 2908831, FR 2892450, FR 2887928, FR 2920188, FR 2908821, WO 2007/022736, WO 2007/085213, WO 99/46147, WO 00/46493, WO 99/34974, WO 2006/131016, WO 2005/090068, WO 01/78912, DE 3216980, DE 3711101, EP 0486427, RU 39673.

**Моторные отсеки ATC (экраны, капоты, обивки, панели), акустические капсулы и кожухи агрегатов ATC:** SU 1468811, SU 1493497, SU 1572904, SU 1632808, SU 1703505, SU 1710367, RU 2123438, RU 2243111, RU 5970, RU 7391, RU 2117792, RU 2270926, RU 52809, RU 72453, RU 20081066813/22, EP 1914406, US 2008/0087489, FR 2906164, AU 2001285393, GB 2387038, FR 2882540, WO 2007010153, FR 2906511, FR 2852901, FR 2721350, FR 2923447, FR 2921319, FR 2558428, EP 1843021, EP 0047023, EP 1215381, EP 2070771, EP 0921291, RU 2165542, RU 33782, RU 1320476, RU 5570, RU 8946, RU 67055, WO 2009/003302, WO 2009/0056668, WO 2007/141193, WO 2007/080125, WO 2004/090307, WO 2008/027370, WO 2007/131497, WO 9938753, DE 2801339, DE 102004007602, DE 4009688, DE 19825739, DE 103114220, DE 10121683, DE 102004059021, DE 19543495, DE 102007053569, DE 102007055250, DE 102006009600, JP 62-110575, JP 2007-9857, JP 10331636, JP 2003254081, JP 2002206411, JP 53041656, JP 2007-177713, JP 2007-170241, JP 62053222, JP 4191417, JP 2004268865, JP 2009108789, JP 7329828, JP 2000062550, JP 11015476, JP 61175141, JP 60124578, US 5631451, US 2006/0278099, US 4432433, US 2009/0130417, DE 3322061, DE 2620774, DE 4039539, DE 2740918, DE 3129095, DE 3225347, DE 2130609, DE 3307752, DE 4011181, DE 4035148, DE 3719255, DE 3038502, DE 19961309, DE 3242604, DE 3346421, DE 10247641, DE 19943773, DE 19534972, DE 10245903, DE 2914209, DE 3242604, DE 3841097, DE 3815394, DE 3811131, DE 3604289, DE 3402731, DE 3024999, DE 2913648, DE 2740918, DE 3925990, DE 4137706, DE 4024035, DE 2913648, DE 3911349, DE 19544601, DE 2510607, DE 10247641, DE 3928507, DE 19730404, DE 19744601, DE 19957869, DE 10239201, DE 29819817, DE 102005003994, DE 10247641, EP 0468322, EP 0648926, EP 0175114, EP 1695872, EP 1029742, EP 60000749, EP 1329613, EP 0310118, EP 1808337, RU 1632808, RU 1493497, RU 808677, RU 1617164, RU 1008478, RU 981644, RU 731001, RU 38696, RU 2140371, RU 1320476, RU 24826, RU 2140371, RU 36800, RU 42806, RU 42497, RU 2003132394, JP 2-293275, JP 5-38123, JP 60-240543, JP 4-43824, JP 2006242138, JP 2006233868, JP 63147927, FR 2648765, FR 7612264, FR 2886892, FR 2925585, US 5451727, US 4993381, US 4222360, US 5467747, US 4114717, US 4084655, US 5452693, US 4522165, WO 2006/075952, GB 2279995, GB 2276224, GB 2289748, GB 2300607, GB 1216783, GB 2272486, GB 2384284, GB 2309439, GB 2172966, GB 2455740, RU 81925, RU 78759, RU 2333376, RU 2327887, WO 2009/114349, DE 102008027207, DE 102008029565, DE 102008030708, DE 102008030709.

**Звукопоглощающие материалы в составе шумопонижающих деталей кузова (обивок, прокладок, панелей):** RU 40775, RU 4946, RU 1830834, RU 2081010, RU 2097226, RU 2098289, RU 2098290, RU 2149788, RU 2301170, RU 2301171, RU 2302964, RU 2302965, RU 2302966, RU 2302967, RU 2304063, RU 2149114, RU 2151708, US 4817968, DE 2353417, US 4029324, US 3971564, DE 3841187, DE 2116004, US 2174504, FR 2674200, DE 4115475, US 2620208, SU 412421, WO 2009/114349, EP 0801916, RU 2008/101386, EP 0990560, DE 10119410, JP 2007168699, JP 2007216863,

DE 102007036046, WO 2009/131855, US 2007/0114816, US 2009/0274861, GB 2455740, US 2009/0039667, EP 2116702, FR 2930919, US 2007/0261914, WO 2008/096050, WO 2008/071792, DE 102007013494, FR 2910685, FR 2128425, WO 2009/142906, FR 2929746, US 2009/0298374, DE 202009011255, EP 1955899, US 2009301811, WO 2007/022971, WO 2006/007275, WO 2007/022973, WO 2006/098694, WO 2007/022973, WO 2007/131583, WO 2006/128632, WO 2007/050536, WO 2006/101403, WO 2004/101320, WO 2005/023594, WO 2005/016620, WO 2005/025858, WO 2006/018190, WO 2006/048304, WO 2006/084677, WO 2006/105933, WO 2004/090307, EP 1738963, EP 1914719, EP 0299518, EP 0139360, EP 1146178, EP 1531116, EP 1029742, EP 1172200, EP 1662480, EP 1695872, EP 1837861, EP 1847383, EP 1662480, EP 0047023, EP 1808337, EP 1695872, EP 2744978, RU 71951, RU 72666, RU 73007, RU 73003, RU 71712, RU 71990, RU 73006, RU 73005, RU 73004, RU 44700, RU 72442, RU 72657, RU 2265552, RU 2259254, RU 2259253, RU 2259252, RU 2259251, RU 2267404, RU 2254954, RU 2267403, RU 2282735, RU 2268380, RU 2081010, RU 2149114, RU 2229990, RU 2243111, RU 52809, RU 72453, RU 5970, RU 7391, RU 2265251, RU 2033349, RU 2081010, RU 2268380, RU 2274710, RU 2324597, RU 2328377, RU 2005122959, RU 2023084, RU 2247878, US 2008/0081163, US 2002/0053484, US 6065717, US 6820720, US 2008/0001431, US 4735427, US 6065717, US 2002/0053484, US 4630707, US 2004/0058131, US 2005/0103564, US 2006/0103171, JP 2008-89629, JP 2008-89620, JP 2008-95915, JP 2007-283988, JP 2007-334285, DE 10034990, DE 202006009245, DE 3440701, DE 3513955, DE 4113628, DE 4332845, DE 9312987, DE 9417813, DE 2801339, DE 10026100, DE 10121683, DE 10253832, DE 19543495, DE 10328025, DE 19804567, DE 10034990, DE 102005003994, DE 102004007602, DE 102005046087, DE 102006009600, DE 10314220, DE 4337468, DE 4440192, DE 10001313, DE 10121683, DE 10245903, DE 10328470, DE 19633839, DE 19702581, DE 19825739, DE 202004011483, DE 202006001654, GB 822954, GB 2333741, GB 1311749, GB 1420929, GB 1475269, GB 1481163, FR 2864923, FR 2868356, FR 2899992, FR 2868982, FR 2899537, FR 2899919, SE 530164, CA 101032937, CA 1286343, AU 2007202503, AU 2007203424, EP 1839954, JP 2107-238065, JP 2000034937, JP 2007183447, JP 2006232110, JP 2007-168699, JP 2007-176363, JP 2000062550, JP 2002274287, JP 9258740, WO 2005/047857, WO 2009/0038881, WO 2007/141172, WO 2007/135317, WO 2009/018218, WO 2008/141380, WO 01/12470, WO 2006/105933, WO 03/068563, WO 2007/097278, WO 2004/050432, WO 00/27671, RU 2188772, RU 2268966, RU 2274710, RU 2344488, RU 2344489, RU 2344490, RU 2297612, DE 4312885, DE 112006002411, DE 10311421, DE 112005002273, DE 60308961, DE 3729765, DE 1823527, DE 102007002209, DE 10026100, DE 3301682, DE 4419218, DE 4412427, DE 2632290, DE 202008008216, US 2009/0038881, US 3174580, US 2005/0093336, US 2009/0120717, EP 2022678, EP 0511157, FR 2919749, FR 2910685, FR 2917054, FR 2917056, FR 2889537, FR 2910685, DE 102007002209, CN 1832874, CA 2562508, KOR 1020050027587, GB 1579897, GB 2416737, US 2077262, RU 2213072, RU 2005128407, RU 2042547, JP 4-355796, JP 62214033, JP 6332466, JP 59073338, JP 60029373, JP 60061375, JP 60124575, JP 1064586, JP 8030274, DE 9312987, DE 10314552, DE 3913347, US 2007/0155266, EP 4950531, WO 9702158, MXPA 05003854, MXPA 05001547, MXPA 05011254, EX 2239288, RU 816219, RU 2206458, RU 1497188, RU 1567686, RU 1162838, RU 22454, RU 33122, RU 46459, RU 2004115479, RU 2042547, RU 2249258, RU 2206458, RU 2229482, RU 2196679, RU 22023084, RU 2232148, FR 2715244, FR 2899992, FR 2899919, GB 2200591, JP 1-54186,

US 4863791, EP 0338693, JP 63-39428, DE 3813237, WO 90/00968, JP 64-213, EP 0352993, JP 1-54187, DE 4332856, WO 91/03808, GB 822954, AU 2007202503, EP 1837861, US 2008/0135332, US 5134014, JP 2007519556, EP 1733827, JP 2006272838, WO 2004088025, WO 2006072269, DE 102007025097, WO 2005/044902, RU 2340012, US 7452440, RU 78269, RU 2006139024, RU 2006137702, RU 2007112538, EP 1207081, RU 2006145684, FR 2912431, WO 2005/100708, RU 2330162, WO 03/052157, WO 95/17320, EP 0198493, EP 0244755, EP 0214559, EP 0195923, DE 102007001947, RU 2071124, RU 2042547, DE 3731417, DE 4321551, WO 93/05091, RU 2196679, DE 4320636, JP 2001347899, CN 1775520, RU 2032757, RU 2026394, RU 95115464, JP 01176043, RU 2290312, RU 2274710, US 2007/0155267, EP 0509603, EP 1791388, WO 2006/059724, DE 3621658, JP 60-113747, EP 0141415, EP 0266726, EP 0316744, WO 92/01587, FR 2627137, DE 2742768, DE 3531886, US 4073991, US 4244438, FR 2410330, DE 3506488, DE 3014711, RU 699544, JP 54-70801, JP 52-134402, FR 2716289, WO 95/27975, DE 3225786, US 2007/190876, WO 2009/081760, WO 2009/089193, DE 4113628, EP 0341652, JP 58177781, JP 2004210287, DE 3734239, US 5554831, JP 63-45981, DE 3729765, JP 63-45982, DE 2742768, FR 2265147, GB 1481163, AT 340101, RU 2005122959, US 2007/0020447, US 2007/0155269, WO 2006/105933, EP 0198493, DE 3219339, RU 33122, DE 102007058250, RU 2140498, EP 1707477, ES 2259151, WO 2004041138, RU 67650, WO 2005/012615, FR 2899992, FR 2899919, US 3991848, WO 2006056351, US 5422466, DE 102005016653, RU 2291257, RU 2117582, EP 0509603, JP 4-37994, DE 3841187, DE 4240290, FR 2708777, FR 2713169, GB 1497951, GB 2167020, DE 2457018, DE 3440701, DE 4137706, CH 680918, EP 0493543, DE 3641384, EP 0492466, RU 2042547, WO 2006/071518, WO 2007/085543, ES 2279107, EP 1492664, EP 1520770, JP 3043242, US 2007/0148436, WO 2006/071464, DE 102005016654, SE 0600929, JP 1150533, RU 2274710, US 4957797, EP 0509603, EP 1520772, RU 2117582, RU 2196679, RU 2064559, WO 2008/064908, US 6586072, WO 2004/101320, DE 2004002864, EP 1215085, WO 2005/075188, WO 98/46456, DE 10314552, EP 0732684, US 5258089, RU 2106021, GB 2050389, GB 1071733, WO 99/58371, WO 99/61284, US 6586072, US 6454048, GB 2101930, WO 99/35007, EP 2004/010155, DE 10342613, JP 2002268648, US 2004222671, JP 2007277791, JP 11180224, JP 2002182656, JP 11352973, JP 2000010569, JP 8146967, JP 8152890, FR 2927590, DE 102006058989, FR 2929173, EP 2103791.

**Легковесные акустические материалы типа «ультралайт»:** WO 99/35007, WO 9517320, WO 95/34446, WO 01/40025, WO 95/29951, WO 2005/065996, WO 2005/044630, EP 1428656, EP 1360105, RU 2198798, RU 2106021, US 20040028904, US 2006201741, US 6720068, US 6676199, US 6569509, US 20060118355, JP 447838, JP 447839, US 2002006507, US 2001/0050197, US 2009/0104427, US 2009/0104407, US 2009/0104435, US 5483028, US 2003/0124940, WO 2009/004258, WO 2005/113296, WO 2006/037407, WO 2005/082699, WO 2005/113296, JP 62279154, JP 2006232110, CA 2566849, DE 102005038184, FR 2900614, FR 2923642, FR 2843120, FR 2889617, FR 2888386, GB 2216081, GB 2056360, GB 2216081, RU 2007116976, EP 1718515, US 2004/0028904, US 2003/0151474, US 6296075, US 5493081, US 2006/0118355, US 2006/0201741, US 6145617, US 6569509, US 6676199, US 6720068, US 2006201741, US 2004/0028904, EP 1798722, EP 1621408, EP 1428656, EP 1847383, EP 1741567, WO 2009/016321, WO 2009/017908, WO 2006/133969, WO 01/42053, WO 2005/023594, WO 2005/044630, WO 2005/069273, WO 98/18656, WO 02/066312, WO 95/29951, WO 01/40025, WO 98/18656, WO 01/92086, WO 99/35007, WO 2007/026411, DE 102004053751, DE 10314552,

DE 4441328, RU 2198798, FR2919218, AU 2006246461, JP 2007284058, JP 20010475454, RU 2106021, CN 1874913, RU 2198798, CN 1764941, MXPA 05001547, FR 2888386, FR 2889617, JP 2006145637, US 2003/0151274.

**Перфорированные структуры акустических материалов:** WO 2006/106854, WO 2005/073956, WO 2007/017317, WO 99/44851, WO 99/46147, WO 00/46493, WO 99/34974, EP 1854708, EP 1735206, EP 1493623, EP 1477302, EP 0447090, EP 1637402, EP 1504985, RU 61240, RU 61353, RU 2042547, RU 2297916, US 2006/0159883, US 2007/0137926, US 2007/0020447, US 2003/0104749, US 2003/0132057, US 3821999, US 5175042, US 4097633, US 4409275, US 4489119, US 2003/207086, US 2007/0063543, US 6820720, US 4347912, US 4830140, US 5554830, US 6491999, JP 58101027, JP 62053222, JP 8314469, JP 8133134, JP 2006199276, JP 57170732, JP 61246041, JP 2007-102028, JP 2007-106304, JP 2006-232110, JP 62165043, JP 11240092, JP 9242561, JP 2-258331, JP 6305374, JP 1168429, JP 58199243, JP 11104898, JP 9258740, JP 2000062550, JP 2001047545, JP 62053222, JP 8314469, JP 8133134, JP 2006199276, JP 2007102028, JP 2007106304, JP 62165043, JP 11240092, JP 9242561, JP 2258331, JP 6305374, JP 1168429, JP 58199243, JP 11104898, JP 2000062550, JP 2001047545, DE 10143002, DE 4332856, DE 102004062331, DE 102004037767, DE 2604692, DE 102005038184, DE 3301682, DE 102005035751, DE 10314552, GB 2363364, GB 2416737, GB 2334475, EP 1146178, SE 207484, WO 2005/030532, WO 0056540, WO 00/61888, WO 2005/073956, US 2009/0047500, US 6615915, US 2003/0207086, US 4113053, US 2004/0058131, US 2007/0137926, US 2007/0020447, US 2455926, JP 2001122052, JP 2002175083, JP 2003226264, JP 2006199276, JP 58101027, FR 1444097, DE 102007036401, AT 359196, DE 2441164, DE 3339701, FR 2921191.

**Анизотропные структуры акустических материалов:** WO 2007/114154, WO 2007/090479, WO 2007/093685, WO 01/26890, WO 2005/116133, WO 99/44816, EP 0063715, EP 1693255, RU 64156, RU 2328378, RU 2310565, US 2001/0005926, US 2002/0160681, US 5400296, US 5493081, US 2002/0023710, US 2008/0203751, US 2001/0050197, US 2007/0270061, US 2007/0092713, JP 1038797, FR 2462260, FR 2398360, FR 2415088, DE 19954970, DE 102006005369, GB 2214868, CA 2566849, FR 2898844, US 2005/0148259, US 2008/0203751, US 2007/0092713, FR 2919420, JP 8-39596, DE 112006001022, DE 19954970, DE 102006005369, RU 2310565, WO 2007/114154, IT 1131797, GB 2056360, NL 1029629, WO 2005/065966.

**Ковровые звукопоглощающие покрытия кабины водителя (пассажирского помещения, багажного отделения):** WO 98/18657, WO 2006/015707, EP 1964666, RU 74871, RU 2329905, US 2003/0062744, US 5171619, US 5504282, US 2006/0099380, JP 2007152585, AU 2005230324, EP 0474593, US 2005123371, CA 2562508, WO 2009/19220, FR 2889617, WO 2005/056341, DE 602004010675, WO 91/09728, WO 01/58722, RU 2008130764, JP 2000071844, JP 20000148155, JP 10236204, JP 10086728, JP 7181979.

**Низкочастотные резонаторные поглотители звука для кабины водителя (пассажирского помещения)** ATC: RU 2033349, WO 2005/066932, WO 2006/101403, WO 2006/098694, WO 2006/128632, EP 0697051, EP 1146178, EP 0139360, EP 1146178, US 4630707, US 6194052, US 6820720, US 6012543, US 6082489, US 2002/0053484, US 2007/0272482, US 2008/0001431, US 2002/0053484, JP 2006-199276, JP 2008-96826, JP 2008-95915, JP 2007-283989, DE 19729804, DE 4315759, DE 19619984, DE 19702347, DE 4412427, DE 4409200, DE 10034990, WO 99/61221, WO 98/50905, EP 1493623,

EP 1950357, EP 1493623, US 2007/0151800, US 2009/10120717, US 6167985, JP 11352973, JP 2000010569, JP 7064564, JP 8080872, JP 8050489, JP 9263269, JP 10203245, JP 10116084, JP 8314469, JP 9090960, JP 8030276, JP 8030277, JP 7013573, JP 60082486, JP 20077038857, RU 2033349, DE 4409200, US 3324968, US 2009301810.

**Многофункциональные детали (узлы) АТС, наделенные выраженными акустическими свойствами:** RU 22106, RU 2199454, WO 2007/096427, WO 2004/050432, WO 2008/073137, WO 2008/077030, WO 2007/051942, WO 2007/051937, WO 01/12470, WO 2007/060222, WO 2008/099128, WO 2008/116512, WO 2007/085213, WO 2007/096100, WO 2008/135357, WO 2005/123466, WO 99/01314, WO 2006/092227, WO 03/068563, WO 2006/032802, WO 2007/085747, WO 2005/100057, WO 2005/082699, EP 1935761, EP 1955899, EP 1555105, EP 1298036, EP 1388443, EP 1843021, EP 1839954, EP 1718515, RU 50941, RU 2007/116976, RU 1626391, RU 2033349, RU 2081010, US 3324968, US 5298694, US 2008/0246229, US 5567922, US 2006/0199653, US 6265044, US 2006/0246799, US 5658652, US 2004/0021342, US 2005/0093336, US 2005/0248176, US 2004/0113460, JP 2006-062438, JP 2098435, JP 63265606, JP 2006-206020, JP 2005-067481, JP 2001-063488, JP 2007-186186, JP 2007-216863, JP 2007-210381, JP 2007-176363, JP 2007-168699, JP 2007-176474, JP 2007-245951, DE 19742198, DE 10332172, DE 60301998, DE 102007045927, DE 102007002209, DE 202006009245, DE 102006018090, DE 4132024, FR 2910863, FR 2912100, FR 2911829, FR 2843120, FR 2913629, FR 2913805, FR 2915154, FR 1985439, FR 2917054, FR 2917056, FR 2900614, FR 2898101, FR 2897023, GB 1505213, DE 202004011482, JP 2000214858, US 2006103161, JP 2006327278, JP 2007112374, JP 7261769, EP 0456531, FR 2897023, WO 95/34446, WO 9517320, WO 9702158, WO 9847742, EP 1839954, EP 0456531, EP 1493623, FR 2812064, FR 2821030, FR 2833909, FR 2876643, JP 7064564, JP 8080872, JP 8050489, JP 60047769, WO 01/92063, DE 10044761, GB 1567650, JP 2-9968, JP 1-249427, US 4808459, JP 2-17338, JP 1-48847, EP 0364102, JP 64-8118, US 4655950, FR 2924655, EP 0684159, WO 2004/050432, WO 2007/000225, EP 2004/010155, DE 10342613, FR 2896743, WO 2006/050893, US 2007/0151654, DE 3410216, DE 3502224, GB2128152, GB 1440885, GB 1406897, DE 3510018, EP 0631923, JP 63-39458, JP 63-34067, JP 63-71447, GB 1384137, DE 3417729, JP 3-23385, JP 3-75365, GB 2249522, JP 4-13174, DE 4141955, DE 4035822, DE 3805448, EP 0364102, DE 4237344, JP 1-78946, GB 1558249, EP 0088931, EP 0346154, GB 2118909, JP 61-32181, JP 59-24017, DE 3516132, DE 3501354, JP 60-113747, FR 2464859, RU 62870, WO 9615011, US 2005249893, ES 2117734, WO 09425265, WO 01/26932, US 6280816, US 2007/0122594, DE 10137028, EP 1506904, KR 20020009470, KR 20020009469, US 2005/0255318, DE 3624164, FR 2744978, CH 680918, EP 0474593, RU 1400928, DE 4329411, DE 4315093, WO 2006/007419, US 2007/0065640, WO 03080912, RU 2185765, AU 2005327035, WO 2006084513, RU 65851, WO 2005/056341, WO 2005/084940, CA 2578063, GB 1420929, JP 62289446, DE 3909389, JP 1-48174, JP 1-48175, DE 2625773, DE 3022017, DE 3620881, DE 3502056, FR 2464859, DE 2526325, WO 88/04621, FR 2674200, JP 3-32172, US 2007207687, US 2007/0065658, FR 2897586, JP 59-6150, EP 1826060, US 2007205621, EP 1588899, US 2007/0149081, JP 4-212641, JP 4-212642, JP 4-212643, FR 2310871, RU 1361052, RU 1400928, JP 4-349042, EP 0453877, DE 3844145, ПР 2007109746/06 от 10.09.2008 г.

**Низкошумные устройства вентиляторных установок системы охлаждения ДВС, системы отопления и вентиляции кабины водителя (пассажирского помещения) АТС:** RU 2140553, RU 2328382, WO 2006/032802, WO 2007/028500, WO 2007/012769,

WO 2006/117485, WO 2006/098694, EP 1344671, EP 1905653, EP 1923421, EP 1889715, EP 0071914, EP 1714833, EP 1873018, RU 68963, RU 2278031, RU 71712, RU 69591, RU 2321775, RU 49193, RU 45797, RU 2247878, RU 2117792, RU 2007109746, RU 2328382, RU 2140553, RU 2328382, US 2005/0188926, US 2004/0038640, US 2008/0119125, US 5498050, US 2006/0103171, US 2006/0103171, AU 2007203424, DE 60120542, DE 19717609, DE 69907412, FR 2902373, FR 2900110, FR 2884274, FR 2878222, FR 2910537, FR 2712851, FR 2199915, FR 2111815, FR 2712538, FR 2712539, FR 939313798, FR 2309717, EP 1388443, RU 58081, RU 2133382, RU 987195, RU 2282731, RU 61199, RU 2298676, RU 2168069, RU 78460, RU 2007110155, RU 2298697, RU 2278031, RU 2222745, RU 2287092, RU 2302560, RU 2302556, RU 37781, RU 2336425, RU 2282042, RU 14365, RU 37781, RU 2336425, RU 92000473/29, RU 2186712, DE 102007035303, DE 102007054824, DE 50013672, DE 3839138, DE 1809426, DE 2537886, DE 3625375, DE 102005023646, DE 2005/059253, WO 2005/100057, WO 95/25325, WO 2006/131660, US 2005/0248176, FR 2920704, EP 002191, EP 1995103, US 3776363, US 2008/0135328, JP 5-65398, JP 60248437, GB 2267359, JP 2006118472, EP 1571046, RO 121866, RU 2351785, RU 2328382, RU 2008101386, SAE 971904, SAE 931334.

*Технологическая процедура поиска патентных документов в сети Internet*

*Поиск на сервере Федерального института промышленной собственности по адресу <http://www1.fips.ru/>*

*Если известен номер патентного документа (например, отобранный из приведенного перечня в разделе 13), необходимо выполнить следующие действия.*

1. Выбрать раздел «*Информационные ресурсы*».
2. В появившейся слева вкладке выбрать пункт «*Открытые реестры*».
3. В представленных списках доступных баз выбрать необходимый раздел (например, «*Реестр изобретений Российской Федерации*», «*Реестр полезных моделей Российской Федерации*» и др.).
4. В активном окне «*Параметр*» выбрать параметр, по которому производится поиск («*дата публикации*», «*номер регистрации*», «*индекс МПК*»). В окне «*Значение*» ввести значение параметра. Например, если необходимо найти патент на изобретение RU 2327887, то в активном окне «*Параметр*» нужно выбрать «*Номер регистрации*», а в окне «*Значение*» ввести номер «2327887» и кликнуть на кнопку «*показать*».
5. В появившемся окне можно ознакомиться с искомым патентным документом в среде «*Internet Explorer*». Кликнув на активную дату публикации патентного документа, можно ознакомиться с его официальной публикацией (полной версией) в формате \*pdf.

Если номер патентного документа неизвестен и нужно произвести патентный поиск аналогов разрабатываемых технических решений, необходимо выполнить следующие действия.

1. Выбрать раздел «*Информационные ресурсы*».
2. В появившейся слева вкладке выбрать пункт «*Информационно-поисковая система*».
3. В появившемся меню в активных окнах «*Имя пользователя*» и «*Пароль*» ввести «*guest*» или же свои личные данные (как зарегистрированного пользователя системы). Далее необходимо нажать кнопку «*Войти*».
4. В появившемся окне выбрать необходимую библиотеку для поиска (например, «*Патентные документы РФ (рус.)*», «*Российские товарные знаки*», «*Российские промышленные образцы*» и др.). В появившемся списке отметить необходимые пункты (напри-

мер, «Перспективные российские изобретения и полезные модели», «Рефераты российских изобретений», «Заявки на российские изобретения» и др.).

5. Зайти во вкладку «Поиск» и задать один или несколько параметров (например, «Регистрационный номер заявки», «Индекс МПК», «Автор», «Патентный поверенный», «Заявитель», «Патентообладатель» и др.). При этом если в параметре «Автор» и «Патентный поверенный» вводятся исключительно фамилии и инициалы авторов или поверенных лиц, то в параметрах «Заявитель» и «Патентообладатель» также могут вводиться названия организаций и фирм, являющихся заявителями или патентообладателями. Нажать кнопку «Поиск».

6. Автоматически произойдет переход в раздел «Список найденных документов», где можно ознакомиться с каждым из них в среде «Internet Explorer», кликнув по названию. Кликнув на активную дату публикации патентного документа, можно ознакомиться с его официальной публикацией (полной версией) в формате \*pdf.

7. После завершения работы кликнуть вкладку «выход».

В случае возникновения затруднений при работе по указанным поисковым технологическим процедурам необходимо выбрать раздел «Информационные ресурсы», в появившейся вкладке открыть раздел «Информационно-поисковая система» и в появившемся списке выбрать пункт «Инструкции» для перехода в раздел «Инструкция по использованию информационно-поисковой системы».

**Поиск патентных документов на сервере esp@cenet по адресу <http://ru.espacenet.com>.**

1. Если номер документа известен, то необходимо перейти в раздел «Нумерационный поиск».

2. Выбрать патентную базу. Для поиска во всех доступных базах выбрать пункт «Worldwide».

3. Ввести номер патентного документа с двухбуквенным кодом страны, например, для Германии – «DE1171820». При поиске заявок на изобретения, символ «/» в номере заявки заменяется цифрой «0». Нажать кнопку «поиск».

4. В появившемся окне нажать на название найденного документа для перехода к его описанию в среде «Internet Explorer».

5. Найденный документ также можно скачать в формате \*pdf. Для этого нужно выбрать вкладку «Исходный документ» и сверху выбрать команду «Save Full Document». После этого ввести представленный код в свободное поле появившегося окна и нажать команду «Submit».

6. Если номер документа неизвестен, то используя вкладки «Быстрый поиск» или «Расширенный поиск», можно произвести его поиск по ключевым словам, именам авторов (или заявителей) или наименованиям организаций. При этом необходимо выбрать область поиска «Ключевые слова в названии изобретения или в реферате» или «Частные лица или организации», ввести поисковые условия (например, ключевые слова, имена авторов или заявителей, наименования организаций) и нажать кнопку «поиск».

В случае возникновения затруднений необходимо щелкнуть на ссылку «Помощь» в левой части экрана.

Для перевода иностранных документов на русский язык рекомендуется использовать комплексы машинного перевода «ПРОМТ» (производства ООО «ПРОМТ», г. Москва), «ABBYY Lingvo» (производства ф. «ABBYY», г. Москва).

*Международная патентная классификация (седьмая редакция) – некоторые выдержки из информационных материалов для проведения патентного поиска по различным техническим направлениям*

**B32B 5/18** – слоистые изделия, отличающиеся неоднородностью или физической структурой, в частности особенностью слоя, выполненного из пористых или материалов пенистой или губчатой структуры;

**5/20** – со вспениванием на месте применения.

**B60K 5/12** – опоры для двигателей (в этот класс дополнительно включены конструктивные схемы установок ДВС).

**B60K 13/02** – устройства и приспособления силовых установок, связанные с подводом воздуха для горения (конструктивные схемы систем впуска ДВС);

**13/04** – устройства и приспособления силовых установок, связанные с выпусктом отработавших газов (конструктивные схемы систем выпуска отработавших газов ДВС).

**B60R 13/08** – элементы отделки кузова, в частности элементы изоляции, например, звукоизоляции (звукопоглощающие, звукоизолирующие, вибродемпфирующие детали).

**F01N 1/00** – глушители шума выпуска отработавших газов (общий класс):

1/02 – с использованием резонанса;

1/04 – зукопоглощающими материалами в резонансных камерах;

1/06 – использованием эффекта интерференции;

1/08 – дросселированием или завихрением потока газов;

1/10 – в комбинации со зукопоглощающими материалами;

1/24 – с применением зукопоглощающих материалов;

7/08 – выхлопные трубы;

7/10 – выхлопные коллекторы;

7/14 – ...с теплоизоляцией.

**F02B 77/11** – конструктивные части, детали или вспомогательные принадлежности, не отнесённые к другим рубрикам, в частности тепловая или звуковая изоляция (здесь, например, включены защитные экраны масляных поддонов ДВС, верхние кожухи ДВС, крышки ограждения привода ГРМ и вспомогательных агрегатов ДВС);

**77/13** – звуковая изоляция.

**F02M 35/12** – воздухоочистители. Глушители для впускных систем ДВС (здесь рассматриваются акустические резонаторы на впуске, модули впуска ДВС);

**35/14** – воздухоочистители, комбинированные с глушителями шума впуска ДВС.

**G10K 11/16** – способы и устройства для защиты от воздействия акустических волн или их подавления:

**11/162** – ...выбор материала;

**11/165** – ...частицы в материале;

**11/168** – ...несколько слоёв из различных материалов, например, структуры с акустической прослойкой.

## Библиографический список

1. ГОСТ Р 51616-2000. Автомобильные транспортные средства. Шум внутренний. Допустимые уровни и методы испытаний. – М. : Изд-во стандартов, 2000. – 19 с.
2. ГОСТ 12.1.026. Шум. Определение шумовых характеристик источников шума в свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью. Технический метод. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 14 с.
3. Краснов, А.В. К вопросу о методе акустических испытаний отопительно-вентиляционных систем транспортных средств / А.В. Краснов // «Туполевские чтения» : сб. докладов междунар. научн. конф. – Казань : Изд-во КГТУ им. А.Н. Туполева, 2006. – Т. 2. – С. 12–13.
4. ГОСТ Р 41.51-2004. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения автотранспортных средств, имеющих не менее четырех колес, в связи с производимым ими шумом. – М. : Изд-во стандартов, 2004. – 31 с.
5. DIN ISO 10844-1997. Acoustics – Specifications of test tracks for the purpose of measuring noise emitted by road vehicles. – International Organization for Standardization, 1997. – 14 p.
6. Клюкин, И.И. Акустические измерения в судостроении / И.И. Клюкин, А.Е. Колесников. – Л. : Судостроение, 1982 – 256 с.
7. Kolano, R.A. Verification of a Miniature Reverberation Room for Sound Absorption Measurements Using Corner Microphone Technique / R.A. Kolano, J.A. Kleckner // SAE Technical Paper. – 1997. – № 971895. – P. 205–208.
8. Saha, P. Sound Absorption Study for Automotive Carpet Materials / P. Saha, R.N. Baker. – SAE Technical Paper. – 1997. – № 870988. – P. 317–321.
9. Halnes, J.C. Sound Absorbing Properties of Molded Fiberglass Panels for Use in Vehicle Noise Control / J.C. Halnes // SAE Technical Paper. – № 870987. – 1987.
10. Kolano, R.A. Automotive Testing Requirements in the Design of a Reverberation Chamber / R.A. Kolano, W.S. Beggs, P. Saha // SAE Technical Paper. – № 931290. – 1987. – P. 235–238.
11. Wentzel, R.E. Assessing Headliner and Roof Assembly Acoustics / R.E. Wentzel, E.R. Green // SAE Technical Paper. – № 971926. – P. 468.
12. Кнудсен, В.О. Архитектурная акустика / В.О. Кнудсен. – М. : КомКнига, 2006. – 173 с.
13. Справочник по контролю промышленных шумов / под ред. Л.Р. Фолкнера ; пер. с англ. под ред. В.В. Клюева. – М. : Машиностроение, 1979. – 447 с.
14. 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.
15. Борисов, Л.А. Звукоизоляция в машиностроении / Л.А. Борисов, Д.Р. Гужас. – М. : Машиностроение, 1990. – 256 с.
16. Звукопоглощающие и звукоизоляционные материалы / под ред. Е.Я. Юдина. – М. : Стройиздат, 1964. – 248 с.
17. Борьба с шумом на производстве : справочник / под ред. Е.Я. Юдина. – М. : Машиностроение, 1985. – 400 с.

18. Лагунов, Л.Ф. Борьба с шумом в машиностроении / Л.Ф. Лагунов, Г.Л. Осипов. – М. : Машиностроение, 1980. – 150 с.
19. Заборов, В.И. Защита от шума и вибрации в черной металлургии / В.И. Заборов, Л.Н. Клячко, Г.С. Росин. – М. : Металлургия, 1976. – 248 с.
20. Скучик, Е. Основы акустики / Е. Скучик. – М. : Мир, 1976. – Т. 1 – 520 с.; Т. 2 – 542 с.
21. Скучик, Е. Простые и сложные колебательные системы / Е. Скучик. – М. : Мир, 1971. – 557 с.
22. Звукоизоляция и звукопоглощение : учеб. пособие для студентов вузов / Г.Л. Осипов [и др.] – М. : АСТ, 2004. – 405 с.
23. Крендал, И.Б. Акустика / И.Б. Крендал – М. : КомКнига, 2005. – 168 с.
24. Контроль шума в промышленности / под ред. Дж. Д. Вебба – Л. : Судостроение, 1981. – 312 с.
25. Борисов, Л.А. Эффективность применения средств звукопоглощения для снижения промышленного шума / Л.А. Борисов // Борьба с шумом и вибрацией : сб. МДНТП. – М. : Знание. – 1977.
26. Никифоров, А.С. Акустическое проектирование судовых конструкций : справочник. – Л. : Судостроение, 1990. – 200 с.
27. Снижение шума в зданиях и жилых районах / под ред. Г.Л. Осипова, Е.Я. Юдина. – М. : Стройиздат, 1987. – 558 с.
28. Exterior Resistant Absorber: a light, low packaging space and high performance absorber for exterior applications / P. Godano [et al.] // Rieter Automotive Conference Proceeding. – 2005. – Р. 9. – Р. 1–10.
29. Bshorr, O. The silator – a small volume resonator / O. Bshorr, E. Laudien // J. Sound and Vibration. – 1992. – № 1. – Р. 81–92.
30. А.с. 595768 СССР, МПК G10K11/00. Устройство для поглощения звука [Текст] / А.А. Иванов, Ю.Н. Дубонин, Б.П. Лоптов, В.Б. Федосеев, В.Ф. Иванов ; заявитель Московский государственный институт проектирования сельского строительства «МОСГИПРОСЕЛЬСТРОЙ». – № 2151018, заявл. 02.07.1975 ; опубл. 02.07.1975, Бюл. № 8.
31. Пат. 3311905 Германия, МПК B32B3/28; G10K11/172. Schalldammende Matte [Текст] / М. Kobe ; патентообладатель: М. Kobe. – 19833311905, заявл. 31.03.1983 ; опубл. 11.10.1984.
32. Боголепов, И.И. Вакуумная звукоизоляция / И.И. Боголепов // 7<sup>th</sup> International Symposium «Transport noise and vibration», 8–10 June 2004. – St. Petersburg, Russia. – 2004.
33. Merston, P.L. Resonance and interference scattering near the coincidence frequency of a thin spherical shell: An approximate ray synthesis / P.L. Merston, N.H. Sun // J. Acoust. Soc. Amer. – 1992. – № 6. – Р. 3315–3319.
34. Боголепов, И.И. Исследование звукоизоляции вакуумных конструкций / И.И. Боголепов // Научно-технические ведомости. – СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2003. – № 4 (34).
35. Brue, P.V. The Design of Absorbers without Formulae / P.V. Brue // 15<sup>th</sup> International Congress on Acoustics Trondheim. – Norway, 1995. – Vol. 2. – Р. 405–408.
36. Viktorovitch, M. Acoustics of a modular engine bay encapsulation integrating a porous air intake system / M. Viktorovitch // Rieter Automotive Conference Proceeding. – 2007, A11. – Р. 1–18.

37. Ионов, А.В. Средства снижения вибрации и шума на судах / А.В. Ионов. – СПб. : Изд-во «ГНЦ РФ Центральный научно-исследовательский институт им. акад. А.Н. Крылова», 2000. – 320 с.
38. Yamaguchi, J. Global Viewpoints. Three Operating Modes of Mitsubishi's GDI V8 / J. Yamaguchi // Automotive Engineering International. – 2000. – March. – P. 28.
39. Pearson, B.A. New Low MDI Polyurethane Foam System for Acoustical Barier Applications in the Automotive Industry / B.A. Pearson // SAE Technical Paper Series. – № 1999-01-1671. – 1999. – P. 1–5.
40. Пат. 2155689 Российская Федерация, МПК B61D17/18, G10K11/16, E04B1/82. Элемент из пенопласта для звукоизоляции полостей / В. Фридль, У. Хайтманн ; патентообладатель: МЕТЦЕЛЕР ШАУМ ГМБХ. – 99100713/28, заявл. 04.06.1997 ; опубл. 27.12.2006, Бюл. № 36.
41. Chang, R.J. Design and Acoustic Performance of Baffles Based on Programmed Heat-activated Foams / R.J. Chang, B. Biche, A. Chiotis // SAE Technical Paper. – № 1999-01-1673. – 1999. – P. 1–6.
42. Пат. 01/92063 Международный, МПК B29C39/10; B29C39/22. Insert element for cavity sealing / P. Daniere, S. Jambert, G. Baleydier, P. Stiefel ; патентообладатель: Rieter Automotive Int AG. – 2001CH00333, заявл. 29.05.2001 ; опубл. 06.09.2001.
43. Пат. 2282544 Российская Федерация, МПК B60R13/08, G10K11/00. Транспортное средство [Текст] / Л.А. Паньков ; патентообладатель ЗАО «Тэкникал консалтинг». – 2004134986/11, заявл. 30.11.2004 ; опубл. 27.08.2006, Бюл. № 24.
44. Пат. 2327887 Российская Федерация, МПК F02B77/13. Кожух двигателя внутреннего сгорания транспортного средства [Текст] / М.И. Фесина, Е.В. Филин, А.В. Краснов, С.А. Рекунов ; патентообладатель: ОАО «АВТОВАЗ». – 2005132866/06, заявл. 25.10.2005 ; опубл. 27.06.2008, Бюл. № 18.
45. Пат. 52109 Российская Федерация, МПК F02B77/13, F02F7/00. Кожух двигателя внутреннего сгорания транспортного средства [Текст] / М.И. Фесина, Е.В. Филин ; патентообладатель: ОАО «АВТОВАЗ». – 2005116054/22, заявл. 26.05.2005 ; опубл. 10.03.2006, Бюл. № 7.
46. Пат. 52809 Российская Федерация, МПК B62D25/16, B60R13/08. Шумопоглощающий брызговик моторного отсека транспортного средства [Текст] / М.И. Фесина, Е.В. Филин, А.В. Краснов ; патентообладатель: ОАО «АВТОВАЗ». – 2005128485/22, заявл. 12.09.2005 ; опубл. 27.04.2006, Бюл. № 12.
47. Пат. 2155274 Российская Федерация, МПК F02M35/14. Воздухоочиститель двигателя внутреннего сгорания транспортного средства [Текст] / М.И. Фесина, А.В. Соколов ; патентообладатель: ОАО «АВТОВАЗ». – 98122975/06, заявл. 21.12.1998 ; опубл. 27.08.2000, Бюл. № 24.
48. Goroncy, J. Nutzlich und schon / J. Goroncy // Automobil Industrie. – 1999. № 10. – S. 98–101.
49. Zipp, T. Schmidt H. Design und Technik unter einem Hut / T. Zipp // Kunststoffe. – 2000. – № 3. – P. 124–127.
50. Пат. 7391 Российская Федерация, МПК B62D29/00, B60R13/08. Капот кузова автомобиля [Текст] / М.И. Фесина, Е.В. Филин, О.В. Данилов, Т.Д. Аляпина ; патентообладатель: АО «АВТОВАЗ». – 97115174/20, заявл. 11.09.1997 ; опубл. 16.08.1998, Бюл. № 8.

51. Пат. 40775 Российская Федерация, МПК F16J15/16. Транспортное средство [Текст] / М.И. Фесина, И.В. Малкин, С.М. Ищенко ; патентообладатель: ОАО «АВТО-ВАЗ». – 2004102497/20, заявл. 30.01.2004 ; опубл. 27.09.2004, Бюл. № 27.
52. Gillard, P.H. Considerazioni sulla lotta preventiva contro il rumore nelle vetture da turismo, allo stadio di progetto / P.H. Gillard // Unikeller Conference Proceeding. – 2 parte. – 1975. – S. 13/1–13/31.
53. Пат. 2150018 Российская Федерация, МПК F02M35/14. Воздухоочиститель для двигателя внутреннего сгорания транспортного средства [Текст] / М.И. Фесина, Е.В. Филин, С.П. Онищенко, Е.В. Лысенко ; патентообладатель: ОАО «АВТО-ВАЗ». – 98122570/06, заявл. 15.12.1998 ; опубл. 27.05.2000, Бюл. № 15.
54. Weibel, O. The Acoustical demands on integrated, multifunctional parts / O. Weibel // Unikeller Conference Proceeding. – 1989. – E 9. – P. 1–7.
55. Wentzel, R.E. A Dissipative Approach to Vehicle Sound Abatement / R.E. Wentzel, J. VanBuskirk // SAE Technical Paper. – 1999. – № 1999-01-1668. – P. 1–8.
56. Wickihalter, R.L. Abifor Hot-melt Powder, Ensures Innovation and Compatibility in the Car Industry / R.L. Wickihalter // Auto. – 2006. – № 1. – P. 56.
57. Braunstein, J. The Hard-Working Headliner: An Expanding Role / J. Braunstein // Auto Interiors. – 2000. – Vol. 7. – № 6. – P. 18–22.
58. Sonders, S.L. Engineering, Optimization, and Tuning of Vehicle Interior Sound Absorption and Other Mechanisms for Sound Reduction / S.L. Sonders, R.P. Doerer, T.E. Scott // SAE Technical Paper Series. – 1989. – № 890234. – P. 1–14.
59. Wurtz, T. Akustikkonzepte und Design fur den Motorraum / T. Wurtz, S. Ziolkowski // Kunststoffe. – 2004. – № 3. – S. 100–101.
60. Borgers, W. Technische Textilien mit Vorteilen bei Gewicht, Funktion und Design / W. Borgers // ATZ. 2003. – № 11. – S. 1100–1105.
61. Leichtgewichtiges radlaufteil: пат. 02066312 Международный / U. Behrendt, D. Trapp ; опубл. 29.08.2002.
62. Vehicle interior floor systems – «Not just a pretty face» / K. Kniss [et al.] // Rieter Automotive Conference Proceeding. – 2005. – P 7. – P. 1–20.
63. 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.
64. Ernster, S. Acoustical Advantages of a New Polypropylene Absorption Material / S. Ernster, J. Tudor, G. Kathawate // SAE Technical Paper. – 1999. № 1999-01-1669. – P. 1–5.
65. Leiser, leichter, günstiger // Automobil-Produktion. – 2007. – Mai. – S. 86–87.
66. Schedel, R. Naturfaser-Werkstoffe für Interieur und Exterieur / R. Schedel // ATZ 06/2007 Jahrgang 109. – S. 530–533.
67. Manchette de levier de vitesses de véhicules automobiles: пат. 2568342 Франция / T. Neunzig ; опубл. 31.01.1986, Bull. 5.
68. Краснов, А.В. Практические приемы структурирования шумопонижающих материалов для повышения их акустической эффективности / А.В. Краснов, М.И. Фесина // сб. трудов XX сессии Российского акустического общества. – М. : ГЕОС-2008. – Т. 3. – С. 256–261.
69. Application of Noise Control and Heat Insulation Materials and Devices in the Automotive Industry / T. Hirabayashi [et al.] // SAE Technical Paper Series. – 1997. – № 951375. – P. 1147–1164.

70. Coussin d'element de siege de vehicule automobile et procede de fabrication d'un tel cousin: пат. 2897023 Франция / О. Danilov, A.I. Mallet ; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 07/32.
71. Пат. 6648100 США, МПК E04B1/82. Method of Tuning Acoustical Absorption in a Vehicle Interior [Текст] / G. Ebbitt, A. Arbor ; патентообладатель: Lear Corporation. – 20030075383, заявл. 24.04.2003 ; опубл. 23.11.2003.
72. Jebasinski, R. Absorptionsschalldämfen in Abgasanlagen / R. Jebasinski // ATZ. – 2000. – № 1. – S. 58–63.
73. Locher gegen Larm // Automobil-Produktion. – 2006. – № 6. – S. 79.
74. Пат. 2033349 Российская Федерация, МПК B60R13/08. Транспортное средство [Текст] / М.И. Фесина, Р.Н. Старобинский, А.В. Соколов ; патентообладатель: Научно-технический центр Производственного объединения «АВТОВАЗ». – 5059816/11, заявл. 26.05.1992 ; опубл. 20.04.1995, Бюл. № 11.
75. Фесина, М.И. Об использовании ранжированных плосколистовых звукопоглощающих материалов в качестве эффективных шумопонижающих футеровок деталей автомобиля / М.И. Фесина, А.В. Краснов // Известия Самарского научного центра РАН. – Самара : Изд-во Самарского научного центра РАН, 2008. – № 3. – С. 895–905.
76. Паньков, Л.А. Звукопоглощающие и вибродемпфирующие материалы для легковых автомобилей / Л.А. Паньков // Автомобильная промышленность – 2005. – № 8. – С. 36–38.
77. Пат. 2351785 Российская Федерация, МПК F02B77/13. Транспортное средство [Текст] / Л.А. Паньков, М.И. Фесина, А.В. Краснов ; патентообладатель: Закрытое акционерное общество Научно-производственное предприятие «Тэкникал консалтинг». – 2007109746/06, заявл. 16.03.2007; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 10.
78. Фесина, М.И. Концепции «мягких» интегральных кожухов для снижения шума двигателей внутреннего сгорания / М.И. Фесина, А.В. Краснов, Л.А. Паньков // Проблемы и перспективы развития двигателестроения : сб. тезисов докладов междунар. научно-техн. конф. – Самара : Изд-во Сам. гос. аэрокосмического ун-та, 2006. – С. 117–118.
79. Фесина, М.И. Объемные интегральные кожухи для снижения шума двигателей внутреннего сгорания транспортных средств / М.И. Фесина, А.В. Краснов, Л.А. Паньков // Известия Самарского научного центра РАН. Спецвыпуск «Безопасность. Технологии. Управление». – Самара : Изд-во Самарского научного центра РАН, 2007. – Т. 2. – С. 184–190.
80. Фесина, М.И. Об особенностях применения верхних шумопонижающих кожухов для двигателей внутреннего сгорания / М.И. Фесина, А.В. Краснов, Е.В. Филин // Проблемы и перспективы развития двигателестроения : сб. тезисов докладов междунар. научно-техн. конф. – Самара : Изд-во Сам. гос. аэрокосмического ун-та, 2006. – С. 119–120.
81. Определение звукопоглощающих свойств материалов и полномасштабных деталей / А.В. Краснов [и др.] // Безопасность в техносфере. – 2010. – № 3. – С. 10–18
82. Фесина, М.И. Результаты стендовых и дорожных исследований путей улучшения акустического комфорта в пассажирском помещении легкового автомобиля / М.И. Фесина, А.В. Краснов, А.А. Шарыпов // Вектор науки ТГУ. – 2010. – № 4 (14). – С. 68–73.

83. Об одном из путей снижения воздушной передачи звуковой энергии в пассажирское помещение легкового автомобиля / А.В. Краснов [и др.] // Безопасность в техносфере. – 2010. – № 4. – С. 17–25.
84. Ранжирование пористых материалов по эффективности звукопоглощения / А.В. Краснов [и др.] // Безопасность в техносфере. – 2011. – № 1 (28). – С. 28–36.
85. Краснов, А.В. Акустические конструкции для снижения негативных воздействий шумовых излучений в населённых пунктах / А.В. Краснов // Безопасность общества и бизнеса: актуальные проблемы : сб. материалов регион. конф. – Тольятти : ВУиТ, 2010. – С. 81–89.
86. Краснов, А.В. Многослойные акустические структуры для снижения излучения звуковой энергии энергетических установок и транспортных средств / А.В. Краснов, М.И. Фесина, А.Г. Назаров // Проблемы и перспективы развития двигателестроения : сб. тезисов докладов Междунар. научно-техн. конф. – Самара : СГАУ им. С.П. Королева, 2011. – Ч. 1. – С. 139–140.
87. О некоторых путях повышения эффективности поглощения акустической энергии пористыми вязкоэластичными структурами деталей интерьера кузова легкового автомобиля / А.В. Краснов [и др.] // Проведение научных исследований в области машиностроения : сб. материалов Всеросс. научно-техн. конф. – Тольятти : ТГУ, 2010. – Ч. 3. – С. 144–149.
88. Снижение шума от энергетического оборудования : учеб. пособие для вузов / В.Б. Тупов. – М. : Изд-во МЭИ, 2005. – 232 с.
89. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом : учебник / Н.И. Иванов. – М. : Логос, 2010. – 424 с.
90. Schallabsorber und Schalldämpfer – Innovative akustische Konzepte und Bauteile mit praktischen Anwendungen in konkreten Beispielen / H.V. Fuchs. – Berlin : Springer-Verlag, 2007. – 546 с.
91. Справочник по защите от шума и вибрации жилых и общественных зданий / под ред. В.И. Зaborова. – Киев : Будивельник, 1989. – 160 с.
92. Фесина, М.И. Патентный обзорный классификационный анализ глушителей шума системы выпуска отработавших газов двигателей внутреннего сгорания / М.И. Фесина, И.В. Малкин, Л.Н. Горина, А.А. Ковалева // Безопасность в техносфере. – 2011. – № 2. – С. 18–26.
93. Фесина, М.И. Оценочное ранжирование акустических качеств автомобильных систем впуска воздуха двигателей внутреннего сгорания / М.И. Фесина [и др.] // Безопасность в техносфере. – 2012. – № 3. – С. 52–60.
94. Патент 2268374 Российской Федерации, МПК F 01 № 1/04. Глушитель шума выхлопа двигателя внутреннего сгорания / Р.Н. Старобинский, М.И. Фесина; патентообладатели: Старобинский Р.Н., Фесина М.И. – 2003138174/06, заявл. 31.12.2003; опублик. 20.01.2006, Бюл. № 02.
95. ГОСТ 16297–80. Материалы звукоизоляционные и звукопоглощающие. Методы испытаний. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 7 с.

## Глоссарий

**АТС** – автотранспортное средство (легковой, грузовой автомобили, автобус).

**Автомобиль** – любое транспортное средство категории М или Н.

**Автомобиль легковой** – автомобиль, предназначенный для перевозки пассажиров (от 2 до 9, включая водителя) и багажа.

**Автомобильный шумопонижающий комплект** – набор шумопоглощающих, шумоизолирующих и вибродемпфирующих деталей (обивок, панелей, прокладок, заглушек, уплотнителей), монтируемых в различных пространственных зонах кузова и входящих в состав отдельных шумоактивных узлов и систем автомобиля.

**Адгезия** – слипание разнородных твердых или жидкых тел (фаз), соприкасающихся своими поверхностями. Адгезия обусловлена межмолекулярным взаимодействием, ионной или металлической связью.

**Анализатор акустический** – прибор для регистрации и последующего анализа звукового спектра.

**Аэроакустические экраны моторного отсека АТС.** В легковых автомобилях – это дополнительные экраны элементы нижней зоны (открытых проемов) моторного отсека и/или развитые конструкции брызговиков силового агрегата, перекрывающие (защищющие) значительную часть проема моторного отсека, являющуюся зоной непосредственной передачи шумового излучения, производимого двигателем (силовым агрегатом) в открытое пространство окружающей среды. Внутренняя поверхность таких многофункциональных элементов, наделенных эффективной акустической функцией, выполняется в виде пористой звукопоглощающей структуры. Оказывают существенное положительное влияние на снижение аэродинамического сопротивления автомобиля, способствуют уменьшению загрязненности агрегатов и систем автомобиля, скомпонованных в пространстве моторного отсека.

**Бел** – десять децибел (10 дБ). В акустике не применяется. Единица измерения, названная в честь изобретателя телефона Александра Белла.

**Биения** – процесс периодических усилений и ослаблений амплитудных значений, вызываемый суперпозицией (взаимодействующих сложением) двух синусоидальных колебаний (тонов) различных, но близких по значениям частот колебаний. Частота следования биений равна разности частот взаимодействующих колебаний.

**Воздухоочиститель (воздушный фильтр) ДВС АТС** – устройство для очистки засасываемого в ДВС воздуха, выполненное в виде крупногабаритной расширительной камеры, с присоединительными трубопроводными элементами: воздухозаборным патрубком, расположенным до расширительной камеры (в редких случаях – двумя параллельно подключенными воздухозаборными патрубками или кольцевым щелевым каналом), предназначенным для забора атмосферного воздуха и воздухоподающего патрубка подачи очищенного воздуха, расположенным после расширительной камеры. Внутри полости расширительной камеры содержится фильтрующий элемент, обеспечивающий очистку засасываемого атмосферного воздуха от твердых и аморфных частиц (пыли, насекомых). Расширительная камера (корпус) воздухоочистителя выполняет также роль глушителя шума впуска. Как показывает практика, для обеспечения заданных (приемлемых) величин заглушения шума впуска объем расширительной камеры должен составлять не менее 5-кратного рабочего объема цилиндров ДВС.

**Волна** – колебательное возмущение, распространяющееся в упругой среде с определенной скоростью таким образом, что в каждой точке среды величина, выбранная в ка-

честве возмущения, является функцией времени, а в каждый момент времени – функцией положения точки. Основное свойство волн, независимо от их природы, состоит в том, что в волнах осуществляется перенос энергии без переноса вещества. Основные виды волн в акустике: плоские, сферические, нормальные, продольные, сдвиговые, изгибные.

**Волна плоская** – волна, в которой волновые фронты являются плоскостями, перпендикулярными к направлению распространения, частая и наиболее простая (элементарная) форма пространственно-временной зависимости, описывающей волновое поле.

**Волна гармоническая** – волна, в которой все точки среды совершают гармонические синусоидальные колебания.

**Волна сферическая** – волна, в которой волновые фронты являются концентрическими шаровыми поверхностями.

**Волна свободная бегущая** – волна, распространяющаяся в безграничной среде.

**Волна нормальная** – гармоническая волна, распространяющаяся без изменения своей формы по данному волноводу. Любая гармоническая волна может быть представлена в виде суперпозиции нормальных волн.

**Волна стоячая** – состояние упругой среды в процессе распространения звуковых волн, при котором расположение максимумов и минимумов упругих перемещений колеблющихся точек среды не меняется во времени. Образуется в результате интерференции двух встречных (противофазно направленных) гармонических колебаний с одинаковыми частотами.

**Волна одномерная** – волна, в которой все характеристики волн зависят, помимо времени, только от одной координаты.

**Волна изгибная** – поперечная волна в пластине или стержне.

**Волна сдвиговая** – волна, распространяющаяся в упругой среде, изменяющая форму элемента среды без изменения объема.

**Волна сжатия-растяжения** – волна в упругой среде, изменяющая объем элемента среды, не подвергая его поворотам.

**Волна бегущая** – волна, распространяющаяся в безграничной среде.

**Волна упругая** – упругое динамическое возбуждение, распространяющееся в твердой, жидкой и газообразных средах.

**Волновод** – участок среды, заполненной жидкостью или газом, ограниченный в одном или двух направлениях и являющийся элементом передачи волн (стержень или пластина – твердые волноводы).

**Волновод акустический** – локализованный участок среды, ограниченный одним или двумя направлениями и являющийся направленным элементом передачи звуковых волн. Звуковые волны в акустическом волноводе распространяются как в виде плоской волны, такой же, как в неограниченных средах, так и в виде нормальной акустической волны.

**Волокна полиуретановые, спандекс** – синтетические волокна, получаемые формированием из растворов или расплавов некоторых полиуретанов (или методом химического формования, в котором полиуретан образуется из исходных соединений непосредственно при получении волокна). По эластичным свойствам сходны с резиновыми нитями (имеют низкий модуль упругости и высокое относительное удлинение), но превосходят их по прочности и износостойкости.

**Волокна полиэфирные** – синтетические волокна, получаемые формованием из расплава полиэтилентерефталата (или сополимеров, содержащих в макромолекуле более 85% этилентерефталата – сополиэфирные волокна). Термо-, свето-, атмосферно-, пlesenе- и износостойки, устойчивы к действию кислот и растворов щелочей средних концентраций. Применяются в производстве тканей, ковров, технического сукна, обивочных материалов, кордных нитей и тканей для шин и резинотехнических изделий для АТС. Торговое название – лавсан, дакрон, терилен, тергал, теторон, элан.

**Время реверберации** – промежуток времени в секундах, замеренный в замкнутом ограниченном пространстве, после выключения источника звука, в течение которого уровень звукового давления данной частоты излучения ослабевает на 60 дБ (в 1000 раз).

**Время релаксации** – длительность установления в структуре материала термодинамического равновесия.

**Вибраакустический комфорт АТС** – совокупность положительных психологических и физиологических ощущений человека при эксплуатации АТС, под воздействием акустических излучений и вибрации в кабине водителя (пассажирском помещении), выраженных минимальным напряжением слухового, опорно-двигательного аппарата, нейрососудистой и нервно-мышечной систем.

**Виброшумодемпфирующие свойства (материалов, конструкций, деталей машин)** – способность (физические свойства) внутренних структур материалов и/или конструкций деталей в составе функционирующего виброшумоактивного узла (агрегата, системы, машины) эффективно рассеивать вибрационную энергию при совершении ими механических колебаний с уменьшенными амплитудами, путем ее необратимого перехода в тепловую энергию с достижением конечного шумопонижающего эффекта. Реализуют механизм подавления структурной составляющей (вибрационного происхождения) шумоизлучения, производимого твердыми поверхностями стенок колеблющихся деталей узлов, агрегатов и систем машин. Характеризуются параметрами «коэффициент потерь», «модуль потерь», «модуль упругости», передаточной функции «сила-шум». В отличие от вибродемпфирования целевой задачей является уменьшение шума, производимого техническими объектами.

**Вторичная переработка АТС** – комплекс технологических процессов и мероприятий, при которых компоненты, завершившие свой жизненный цикл в АТС, не используются повторно, а проходят промышленную переработку для последующего использования материалов для определенных целей, кроме энергетической утилизации, сжигания, любого другого уничтожения или размещения на свалках.

**Гармоника** – синусоидальная компонента (чистый тон) сложной периодической волны, частота которой составляет целое кратное число по отношению к основной частоте волны.

**Гигроскопичность** – свойства материалов поглощать (сорбировать) влагу из воздуха путем образования химических соединений с водой или капиллярной конденсации.

**Громкость** – субъективное суждение об интенсивности звука, характеризуемое человеком на основании слуховых ощущений. Зависит от звукового давления и частоты звука.

**Глушитель шума автомобильный** – подразумевается устройство уменьшения аэродинамического (газодинамического) шума, генерируемого истечением (перемещением) газового потока, рабочими процессами ДВС, и распространяется по трубопроводным элементам его системы газообмена (системы впуска и выпуска отработавших газов). Глушители аэродинамического шума могут также применяться в газоводах систем вентиляции картера и подачи вторичного воздуха в выпускной трубопровод ДВС.

В ряде случаев находят также применение глушители аэродинамического шума для вентиляционных установок систем охлаждения ДВС, вентиляции и отопления (кондиционирования) пассажирского салона (кабины) АТС. В качестве автомобильных глушителей используют одно- и многокамерные шумозаглушающие устройства частотно настроенных камер (расширительных, резонаторных) с и/или без заполнения их пористыми звукопоглощающими набивками материалов (волокнистых, вспененных), с подключением резонансных поглотителей звука (четвертьволновых, резонаторов Гельмгольца), перфорированных элементов (труб, перегородок) и т. д. К конструкциям автомобильных глушителей наряду с акустическими (шумозаглушающими) характеристиками, предъявляются весьма жесткие массо-габаритные, гидравлические (по противодавлениям транспортируемых газовых потоков), долговечностные, стоимостные требования.

**Давление звуковое** – переменная часть давления, возникающая в среде при прохождении звуковой волны.

**Давление звуковое эффективное** (среднеквадратичное звуковое давление) – среднеквадратичное значение мгновенных звуковых давлений в рассматриваемой точке за интервал времени.

**Двигатель** – устройство, преобразующее какой-либо вид энергии в механическую работу. Как правило, в процессе преобразования энергии и выполнения двигателем механической работы возникают негативные воздействия на окружающую среду и проблемы безопасности эксплуатации машин, оборудованных двигателями.

**Двигатель тепловой** – устройство, преобразующее тепловую энергию в механическую работу. Наиболее распространенный вид энергетических установок, загрязняющих окружающую среду токсическими, тепловыми, акустическими выбросами и излучениями.

**Двигатель внутреннего сгорания (ДВС)** – разновидность теплового двигателя, внутри которого происходит сжигание топлива и преобразование части выделяющейся теплоты в механическую работу. ДВС подразделяются:

- на *поршневые ДВС* (ПДВС) – тепловые двигатели, в которых весь рабочий процесс осуществляется полностью в цилиндрах;
- *газотурбинные ДВС* (ГДВС) – тепловые двигатели, в которых весь рабочий процесс последовательно совершается в воздушном компрессоре, расширительной машине и газовой турбине;
- *ракетные ДВС* (РДВС) – тепловые двигатели, в которых расширение продуктов сгорания происходит в реактивной камере.

Термин ДВС, как правило, употребляют применительно к поршневым ДВС.

**Декремент затухания** – отношение любого последующего максимального отклонения системы от положения равновесия к предыдущему через промежуток времени, равный периоду, характеризующему, во сколько раз уменьшается амплитуда, а следовательно, и быстрота затухания колебаний. Натуральный логарифм этой величины называют логарифмическим декрементом затухания.

**Децибел дБ (одна десятая Бела)** – не физическая величина, а математическое понятие, равное  $10\lg$  отношения двух сопоставляемых физических величин (принятых в акустике – звуковых давлений, интенсивностей, мощностей, колебательных перемещений, колебательных скоростей, колебательных ускорений) к соответствующим нормированным (стандартизированным) величинам их пороговых значений:  
интенсивности звука  $L_I = 10 \lg I/I_0$ , где  $I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$ ;  
звуковой мощности  $L_W = 10 \lg W/W_0$ , где  $W_0 = 10^{-12} \text{ Вт}$ ;

звукового давления  $L_p = 20 \lg p/p_0$ , где  $p_0 = 2 \times 10^{-5}$  Па;  
колебательного ускорения  $L_a = 20 \lg a/a_0$ , где  $a_0 = 10^{-6}$  м/с<sup>2</sup>;  
колебательной скорости  $L_v = 20 \lg v/v_0$ , где  $v_0 = 10^{-9}$  м/с.

**Диссипация** – необратимое преобразование (рассеивание) механической (акустической) энергии в теплоту.

**Дифракция** – явление, связанное с отклонением волн от прямолинейного распространения при взаимодействии с препятствием (находящимся на пути их распространения). Возникновение дифракционного эффекта звукопоглощения обусловлено дополнительным рассеиванием энергии звуковой волны на пористом препятствии с конечным значением входного акустического сопротивления поверхности препятствия (пористой волокнистой или вспененной открытой ячеистой структуры). Новая рассеянная звуковая волна, образованная дифракционным процессом распространения на краях (границах) пористого элемента конечных размеров (формирующая краевой эффект), вызывает дополнительный поток звуковой энергии, направленный (распространяющийся) внутрь пористой структуры этого элемента, что приводит к возрастанию суммарного звукопоглощающего эффекта.

**Диполь** – точечный излучатель звука, состоящий из двух противофазно включенных ненаправленных сферических излучателей (монополей).

**Длина изгибной волны ( $\lambda_u$ )** – расстояние (по перпендикуляру) между двумя фронтами волны, различающимися по фазе на один целый период колебаний.

**Длина звуковой волны ( $\lambda$ )** – отношение скорости звука (с) к частоте колебаний (f).

**Диффузное звуковое поле** – звуковое поле, в каждой точке которого уровень звукового давления один и тот же.

**ЕЭК ООН** – Европейская Экономическая Комиссия при Организации Объединенных Наций, одна из пяти региональных комиссий Организации Объединенных Наций. Она была учреждена в 1947 году Экономическим и Социальным Советом Организации Объединенных Наций (ЭКОСОС) с целью развития экономической деятельности и укрепления экономических связей внутри региона ЕЭК ООН и между этим регионом и остальным миром.

ЕЭК ООН служит для правительств региональным форумом для разработки конвенций, норм и стандартов с целью гармонизации действий и облегчения обмена мнениями между государствами-членами. Выполняя эту функцию, ЕЭК ООН обеспечивает гарантии безопасности и качества потребителям, *помогает охранять окружающую среду*, упрощает процедуры торговли, а также способствует более тесному единению государств-членов внутри региона и их более полной интеграции в мировую экономику.

Перечень правил ЕЭК ООН, касающихся ограничения шумовых излучений, производимых АТС, и использования акустических материалов в конструкциях АТС в отношении экологических требований и пожаробезопасности:

- **R9** «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения трехколесных транспортных средств, в связи с производимым ими шумом»;
- **R21** «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении их внутреннего оборудования»;
- **R26** «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении их наружных выступов»;
- **R34** «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении предотвращения опасности возникновения пожара»;
- **R41** «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения мото-

- циклов в связи с производимым ими шумом»;
- **R51** «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения автотранспортных средств, имеющих не менее четырех колес, в связи с производимым ими шумом»;
  - **R59** «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения сменных систем глушителя»;
  - **R63** «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двухколесных мопедов в связи с производимым ими шумом»;
  - **R117** «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения шин в отношении шума, производимого ими при качении»;
  - **R118** «Единообразные предписания, касающиеся характеристик горения материалов, используемых в конструкции внутренних элементов определенных категорий механических транспортных средств»;
  - **R122** «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий М, Н и О в отношении их систем отопления».

**Закон обратных квадратов радиусов** – отражает изменение уровней звукового давления сферического (точечного) излучателя, находящегося в безграничной среде, согласно выражению  $L_p = 20 \lg r_2/r_1$ , дБ, где  $r_1$  и  $r_2$  – соответствующие радиусы поверхности сфер, на которых производится измерение уровней звукового давления ( $r_1 > r_2$ ). Из приведенного соотношения следует, в частности, что при удвоении расстояния ( $r_2 / r_1$ ) уровень звукового давления изменяется на 6 дБ.

**Затухание (ослабление) звука** – уменьшение амплитуды звукового давления или колебательной скорости, а следовательно, интенсивности звуковой волны по мере ее распространения (удаления от источника излучения).

**Звук** – колебания и упругие волны в частотном диапазоне 20...20000 Гц (16...22000 Гц), распространяющиеся в твердых, жидких и газообразных средах.

**Звукоизоляция.** Термин «звукоизоляция» употребляется для обозначения трех технических характеристик и относится непосредственно к самой акустической конструкции, комплексному физическому процессу поглощения и отражения звуковых волн акустической конструкцией и количественной оценке изменения (ослабления) передачи акустического излучения (численного изменения параметров физического процесса), вносимого используемой акустической конструкцией. Является мерой изоляции звука перегородкой, стеной или панелью, выраженной в дБ. Звукоизоляция равна десятичному логарифму отношения интенсивностей падающей и прошедшей (через перегородку) звуковых волн либо разности уровней в дБ. При оценках звукоизоляции в замкнутых помещениях должна быть учтена эквивалентная площадь звукопоглощения стен, пола и потолка этого помещения.

**Звукопоглащающее свойство** – способность (физическое свойство) внутренних структур материалов и/или конструкций деталей в составе функционирующего звукогенерирующего узла (агрегата, системы, машины) эффективно рассеивать (поглощать) энергию звуковых волн, распространяющихся в упругой (воздушной) среде, путем ее необратимого перехода в тепловую энергию, с достижением конечного эффекта уменьшения уровня звука. Реализуют механизм подавления воздушной составляющей шумового излучения технических объектов (произведенного колеблющимися твердыми структурами стенок деталей, газодинамическими пульсациями, турбулентными вихреобразующими аэродинамическими процессами истечения и обтекания твердых неоднородностей и т. п.). Характеризуется коэффициентом звукопоглощения (нормальный, реверберационный), эквивалентной площадью звукопоглощения.

**Звукопрозрачность** – свойство конструкций (пластин, оболочек, пленок) пропускать звуковую волну без существенного ослабления (без существенного отражения в направлении, противоположном распространению от источника излучения). Количественно звукопрозрачность характеризуется коэффициентом прохождения звука.

**Звуковое поле диффузное** – звуковое поле, имеющее плотность звуковой энергии и интенсивность звука, равномерно распределенные по всему объему замкнутого пространства. Образуется в результате многократных отражений звуковых волн от стенок замкнутого пространства.

**Звукопоглотители комбинированные** – сочетают характеристики панельного поглотителя и поглотителя с рассеивающим элементом. Такой звукопоглотитель отличается широкополосностью поглощения звуковой энергии и, как правило, выполняется в виде перфорированной панели из пористого материала, покрытого, например, листом перфорированного картона с коэффициентом перфорации не менее 0,2.

**Значение эффективное.** В технической акустике чаще интерес представляют не амплитудные значения ( $P_a$  и  $V_a$ ), а эффективные значения звукового давления или колебательной скорости ( $P_m$  и  $V_m$ ), которые для гармонических процессов имеют следующий вид:

$$P_m = \frac{P_a}{\sqrt{2}}; \quad V_m = \frac{V_a}{\sqrt{2}},$$

где  $P_a$  и  $V_a$  – амплитудные значения звукового давления и колебательной скорости, Па, м/с;  $P_m$  и  $V_m$  – соответствующие им эффективные значения, Па, м/с.

**Зонд акустический** – устройство для измерения звукового давления в заданной точке (зоне) звукового поля (как правило, используются в замкнутых ограниченных пространствах).

**Изобретение** – техническое решение в любой области жизнедеятельности человека, относящееся к продукту (в частности, к устройству, веществу, штамму микроорганизма, культуре клеток растений или животных) или способу (процессу осуществления действий над материальным объектом с помощью материальных средств). Изобретению предоставляется правовая охрана, если оно является новым, имеет изобретательский уровень и промышленно применимо. Патент на изобретение действует до истечения двадцати лет с даты подачи (регистрации) заявки в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности.

**Изотропия** – независимость характеристик поля от пространственного направления.

**Изотропный излучатель** – гипотетический абстрактный точечный источник, создающий излучение с постоянной во всех направлениях интенсивностью.

**Излучение и распространение волн.** Для излучения волны необходимо произвести в среде некоторое динамическое возмущение за счет воздействия внешнего источника энергии. Работа, совершаемая этим источником, за вычетом некоторых потерь, превращается в энергию излучаемых волн. Упругие волны в однородных жидкостях (газах) возникающие в какой-либо малой области (точке) и распространяющиеся без поглощения в окружающем пространстве, подчиняются одному и тому же волновому уравнению.

**Импеданс акустический** (акустическое сопротивление)  $Z$  – комплексное сопротивление, учитываемое при распространении колебаний акустических систем (труб, преобразователей), равное отношению комплексной амплитуды звукового давления к колебательной объемной скорости. Действительная часть акустического импеданса связана с потерями энергии на излучение звука и ее диссипацию в самой акустической системе. Мнимая часть акустического импеданса обусловлена реакцией сил упругости (гибкости) или сил инерции. Единица измерения Па $\times$ с/м.

**Импеданс входной акустический** – отношение звукового давления к колебательной скорости на границе полубесконечной среды, откуда падают звуковые волны, с другой средой – куда проникают эти волны.

**Импеданс стенки** – отношение звукового давления, действующего на стенку (или покрытие стенки) к составляющей скорости, нормальной к плоскости стенки.

**Индекс артикуляции** – показатель, характеризующий акустические (шумовые) помехи восприятия речи в кабине (пассажирском помещении) автомобиля.

**Интенсивность звука** – поток звуковой энергии, проходящей через единицу площади. Имеет размерность Вт/м<sup>2</sup> и может быть выражена в децибелах относительно некоторого порогового значения (см. термин «децибел»). Для плоской свободной бегущей волны интенсивность равна  $I = p^2 / \rho c$ , Вт/м<sup>2</sup>, где  $p$  – звуковое давление, Па;  $\rho c$  – волновое сопротивление среды.

**Интерферометр акустический** – устройство для измерения фазовой скорости и коэффициента поглощения акустических колебаний, принцип действия которого основан на интерференции акустических волн (см. также термины «труба измерительная», «труба Кундта»).

**Источник излучения точечный** – колеблющееся тело малых волновых размеров (малых по отношению к длине излучаемой волны), например, классические излучатели звука типа пульсирующей сферы-монополя или диполя, квадруполя и т. д.

**Катколлектор (катализитический коллектор)** – один из основных модулей системы выпуска отработавших газов ДВС, объединяющий (интегрирующий) выхлопной коллектор в сборе с каталитическим нейтрализатором, кислородным датчиком (датчиками) и выпускными (приемными) трубами глушителей (участком трубы, сопрягаемым с присоединительным трубопроводом дополнительного глушителя – резонатора). В состав модуля могут входить также компенсатор колебаний сильфонного или углового типа и термоакустические кожухи и экраны, непосредственно закрепленные на корпусных элементах катколлектора.

**Камера акустическая реверберационная** – помещение (лабораторно-стендовая установка), в котором практически вся (не менее 98%) излучаемая акустическая энергия отражается обратно к источнику, расположенному в этом помещении, от образующих его стен, пола и потолка, изготовленных из жесткого звукоотражающего материала.

**Камера акустическая заглушенная (безэховая)** – представляет собой безэховое помещение (лабораторно-стендовую установку), в котором пол, стены и потолок изготовлены (покрыты, футерованы) из эффективного звукопоглощающего материала. Практически вся (не менее 98%) звуковая энергия, излучаемая исследуемым объектом, распространяется в радиальных направлениях (излучается в сферу) и поглощается стенами, полом и потолком без какого-либо существенного отражения. Так как отражение звуковых волн фактически отсутствует, то не возникает интерференционных взаимодействий прямых и отраженных звуковых волн, искажающих звуковое поле источника излучения, которые могли бы повлиять на точность измерений. В заглушенной безэховой акустической камере соблюдается закон обратных квадратов, подразумевающий изменение уровней звукового давления сферического монопольного излучателя на 6 дБ при каждом изменении в 2 раза расстояния измерительного микрофона по отношению к поверхности излучателя.

**Камера акустическая полузаглушенная.** Часто по техническим или экономическим соображениям нецелесообразно строить безэховую камеру для акустических испытаний технических объектов, например, для крупногабаритного оборудования. Для

таких испытаний используют акустическое полузаглушенное помещение. Пол такого помещения является жестким звукоотражающим. Его обычно изготавливают из бетона, а стены и потолок покрывают (футеруют) высокоеффективным звукопоглощающим материалом. В этом случае в пространстве помещения звуковое излучение от объекта исследований происходит в полусферу. В результате регистрируемая звуковая энергия источника излучения удваивается (вследствие ее отражения от поверхности пола), что соответствует увеличению ее уровня на 3 дБ.

**Квадруполь акустический** – два спаренных диполя, излучающих звук в противофазе (звукопротивофазная система из четырех монополей).

**Клей, адгезивы** – композиции на основе органических или неорганических веществ, способные соединять (склеивать) различные материалы. Действие обусловлено образованием прочной адгезионной связи между kleевой прослойкой и соединяемыми поверхностями. На прочность kleевого шва влияют также когезия kleевого слоя и сопрягаемых поверхностей. Основой органических kleев служат главным образом синтетические олигомеры и полимеры (феноло-формальдегидные, эпоксидные, полиэфирные смолы, полиамиды, полиуретаны, кремний-органические полимеры, каучуки и др.), образующие kleевую пленку в результате затвердевания при охлаждении (термопластичные kleи), отверждении (термоактивные kleи) или вулканизации (резиновые kleи). К неорганическим kleям относят алюмофосфатные, керамические, силикатные, металлические.

**Колебание акустическое** – движение частиц упругой среды около положения их равновесия в звуковом диапазоне частот с амплитудным значением, превышающим пороговое значение чувствительности человеческого уха на данной частоте колебаний.

**Ковер (коврик) пола интегральный** – деталь интерьера пассажирского помещения (кабины) АТС и/или багажного отделения кузова легкового автомобиля, изготовленная из ворсистых материалов ковровых покрытий, интегрированных в единый модульный элемент с деталями шумопонижающего комплекта, например, шумоизолирующими или шумопоглощающими обивками (прокладками), включая элементы, обеспечивающие неакустические функции (несущие крепежные, каркасно-жесткостные и др.).

**Коэффициент звукопоглощения реверберационный** – отношение энергии диффузного звукового поля, поглощенной поверхностью исследуемого образца материала, к энергии диффузного звукового поля, падающей на нее. Определяется по изменяющемуся времени реверберации камеры (например, малой реверберационной камеры типа «Кабина Альфа») вследствие помещения в ее полость исследуемого образца материала (полномасштабной детали).

**Коэффициент звукопоглощения нормальный** – коэффициент звукопоглощения малогабаритного образца материала, определенный при нормальном падении на него синусоидальной звуковой волны. Определяется, по результатам регистрации локализации амплитуд максимальных и минимальных значений звуковых давлений стоячих волн, искусственно создаваемых в акустическом интерферометре (трубе Кундта), с последующим расчетом значений на каждой исследуемой частоте звуковой волны.

**Коэффициент перфорации** – отношение суммарной площади отверстий (перфорации) к общей площади лицевой поверхности, на которой была проведена процедура перфорирования (до момента ее перфорирования).

**Коэффициент рисайклинга (рециклирования) автомобиля** – выраженный в процентах к снаряженной массе автомобиля результат расчетов пригодности нового автомобиля

для повторного использования и вторичной переработки, выполненный в соответствии с методикой стандарта ISO-22628 [директива 2005/64/ЕС].

**Коэффициент утилизации автомобиля** – выраженный в процентах к снаряженной массе автомобиля результат расчетов пригодности нового автомобиля для рисайклинга и энергетической утилизации, выполненный в соответствии с методикой стандарта ISO-22628 [директива 2005/64/ЕС].

**Конструкции звукопоглощающие резонансные неперфорированные** – это жесткие колебательные системы или *мембранные поглотители*, у которых колеблющаяся масса, например, закрепленной панели, совершает вынужденные колебания под воздействием падающих звуковых волн и сжимает находящийся позади нее (панели) замкнутый объем воздуха. Благодаря этому звуковая энергия затрачивается на преодоление упругого сопротивления (реакции) воздуха за панелью и сил трения, возникающих при изгибных колебаниях панели. При размещении в замкнутой воздушной полости пористого звукопоглощающего материала происходят дополнительные потери звуковой энергии в связи с вязким трением в его порах и динамическими деформациями гибкого скелета материала. В определенной степени представителями мембранных поглотителей звука в АТС могут считаться цельноформованные обивки кабины (пассажирского помещения), моторного отсека и багажного отделения, изготовленные из пористых волокнистых структур, облицованных защитно-декоративными покрытиями, которые после их монтажа на АТС образуют замкнутые воздушные полости с примыкающими к ним металлическими панелями кузова (обивки крыши, капота, полки багажника, дверей, крышки багажника, боковин и пола багажного отделения и т. п.).

**Конструкции звукопоглощающие резонансные перфорированные.** В основе этих конструкций лежат акустические свойства *резонатора Гельмгольца*. Если частота звуковых колебаний близка к собственной частоте резонатора, то амплитуда скорости колебаний в горле резонатора резко увеличивается, что вызывает значительное возрастание потерь звуковой энергии в области частот, примыкающей к собственной частоте колебаний резонатора (расходуемой на преодоление трения).

Параллельное соединение (подключение) большого числа резонаторов соответственно увеличивает звукопоглощение конструкции. *Резонансные звукопоглощающие системы* выполняют из перфорированных облицовок с подклеенной к ним пористой тканью. Такая конструкция имеет селективное поглощение (в узкой полосе), обусловленное ее резонансными свойствами. Для получения более равномерной частотной характеристики коэффициента звукопоглощения на внутреннюю сторону перфорированной панели закрепляют слой пористого (волокнистого, открытоячеистого вспененного) материала. Рост коэффициента перфорации (площади отверстий) увеличивает коэффициент звукопоглощения в области высоких частот. В то же время рост суммарного периметра отверстий перфорации при их неизменной площади вызывает увеличение эффекта звукопоглощения (за счет усиления процесса ослабления амплитуд колебательной скорости газа в горлах резонаторов при существенно большем периметре трения, что влечет соответствующее возрастание диссипации колебательной энергии).

**Конструкция несущая** – элемент конструкции или совокупность элементов конструкции, обеспечивающие качественное функционирование навесных сборочных единиц в условиях воздействия дестабилизирующих силовых факторов.

**Когезия, сцепление** – притяжение между частицами одного и того же твердого тела или жидкости, приводящее к объединению этих частиц в единое целое. Причиной когезии являются силы межмолекулярного взаимодействия, водородной и/или химической связи. Силы когезии наиболее велики в твердых телах.

**Колебания гармонические** – колебания, при которых физическая величина изменяется с течением времени по синусоидальному закону.

**Колебания когерентные** – колебания, согласовано протекающие во времени, т. е. между фазами которых имеется (поддерживается) неизменное соотношение.

**Кожух** – наружная защитная оболочка машины, механизма (двигателя, коробки передач и т. п.), как правило, гладкой обтекаемой формы, содержащая каркас оребрения, которая служит для уменьшения шума (тепло- и влагозащиты), генерируемого виброакустическими процессами машины (механизма), а также для выполнения сопутствующих функций декоративного, несущего, травмозащитного элементов.

**Кожухи ДВС** (защитные крышки, ограждающие корпусные элементы для механизмов и/или систем ДВС), наделяемые акустической (шумопоглощающей, шумоизоляционной) функцией. К ним относятся, в частности, клапанная крышка (крышка головки цилиндров), крышка ограждения ремня (цепи) привода газораспределительного механизма, кожухи корпусов нейтрализаторов и глушителей системы выпуска отработавших газов, кожух картера сцепления (защитная крышка маховика ДВС).

**Кокпит.** В наземных транспортных средствах, в частности, АТС – это агрегатированный многофункциональный модуль передней панели кабины (пассажирского помещения). Включает интегральную конструкцию панели приборов, отопительно-вентиляционной установки (кондиционера), подушки безопасности, перчаточного ящика и различных других функциональных устройств конкретной модели и комплектации АТС.

**Коммуникации акустические (волноводные) в АТС (легковом автомобиле)** – пустотельные шумопередающие элементы конструкций кузовных элементов: порогов, лонжеронов, усилителей, стоек или открытых технологических или различных коммуникационных функциональных окон и щелевых отверстий, через которые передается звуковая энергия во внутреннее пространство пассажирского помещения (кабины) воздушным путем из зашумленных пространств моторного отсека, багажного отделения или подднищевого пространства кузова автомобиля (из-под пола, из зон колесных арок).

**Критерии шумовые** – наборы кривых, связывающих уровни звука в октавных полосах частот с помехой разборчивости речи и приемлемостью для тех или иных условий.

**Критическая частота** – самая низкая частота, при которой еще возможен *резонанс совпадений* для данной панели (перегородки), выше которой звукоизоляция панели (перегородки) понижается. Чем меньше упругость панели (перегородки) и чем она тоньше, тем выше критическая частота.

**Лавсан** – торговое название полиэтилентерефталата и волокон из него. Лавсановая пленка толщиной 0,01...0,10 мм используется в качестве составного звукопрозрачного защитного слоя пористых структур звукопоглощающих материалов (звукопоглощающих панелей и обивок в АТС).

**Латекс** – водная дисперсия полимеров (натуральных, синтетических или искусственных). Пористый латексный слой используется в качестве промежуточного связующего адгезионного покрытия в многослойных шумоизолирующих структурах, когда требуется сохранить или обеспечить улучшение характеристик их звукопоглощения. Широко применяется в качестве адгезионных соединений (звукопрозрачных технологических сшивок слоистых структур) ковровых звукопоглощающих покрытий пассажирского помещения и багажного отделения кузова легковых автомобилей и автобусов.

**Максимальная скорость АТС** – наибольшая установившаяся скорость движения АТС на прямом горизонтальном измерительном участке дороги, определяемая при заданных условиях испытаний.

**Масса** – физическая характеристика материи, являющаяся мерой ее инерционных и гравитационных свойств. Единица измерения – килограмм (кг).

**Мощность акустическая** – выраженное в Ваттах общее количество звуковой энергии, излучаемое источником в окружающее пространство, в единицу времени.

**Материалы акустические** – конструкционные материалы, используемые для изменения (улучшения) тех или иных акустических характеристик технических объектов (транспортных средств, энергетических установок, промышленного оборудования, бытовой техники, жилых и производственных зданий, киноконцертных и театральных залов, музыкальных инструментов, электроакустических установок и пр.), которые непосредственно генерируют паразитные звуковые (шумовые) излучения либо защищают от их нежелательного воздействия, целенаправленно формируют те или иные звуковые образы путем воздействия как на сами излучатели, так и на среду распространения звуковых излучений.

**Материалы акустические (виброакустические) автомобильные** – совокупность вибропоглощающих материалов (вибродемптирующих, вибропоглощающих, звукоизолирующих), используемых для изготовления автомобильных деталей и узлов, предназначенных для уменьшения регламентируемых нормативными документами (международными и национальными стандартами) уровней внешнего и внутреннего шума, общей и локальной вибрации на местах водителя и пассажиров, а также для обеспечения (улучшения) конкурентоспособных потребительских свойств автомобилей в отношении достигаемого акустического и вибрационного комфорта в кабине (пассажирском помещении) АТС.

**Материал звукопоглощающий** – материал, обладающий реверберационным коэффициентом звукопоглощения не менее 0,2 [91].

**Материал звукопоглощающий, пористый** – материал, у которого твердое вещество занимает часть общего объема, образуя пространственный пористый скелет, а остальной объем приходится на многочисленные сообщающиеся полости и каналы (для вспененных открытоячеистых материалов) или сообщающиеся капиллярные каналы (для волокнистых материалов), которые открыты наружу и заполнены упругой воздушной средой.

**Материал звукопоглощающий, волокнистый** – пористый материал, структура которого представляет упругий деформируемый скелет, сформированный множеством динамически связанных и взаимодействующих между собой волокон. Образованные между поверхностями волокон воздушные поры в таких упругих структурах волокнистых материалов имеют вид узких сообщающихся капиллярных каналов. Выполняется на основе натуральных (хлопковых, шелковых, джутовых, сизальных, льняных, конопляных и др., белковых животного происхождения), синтетических (акриловых, полиэстеровых, полиоксадиазольных, полииimidных, углеродных, арамидных, полипропиленовых, нейлоновых и т. д.), минеральных (базальтовых, керамических, стеклянных и т. д.), металлических волокон (в виде специально подготовленных металлических структур типа пористого волокнистого материала – ПВМ, пористого сетчатого материала – ПСМ, металлорезины – МР).

**Материал звукопоглощающий, вспененный (губчатый)** – пористый открытоячеистый материал, упруго-деформируемый скелет которого сформирован посредством технологического вспенивания и последующей полимеризации раствора полимерного материала или посредством проведения соответствующей химической реакции. Вспененные звукопоглощающие материалы выполняются на основе уретанового, нитрильного, винилового, бутадиен-стирольных полимерных составов.

**Материал звукопоглощающий, рыхлый** – материал в виде отдельных обособленных твердых частиц (волокон), не имеющий определенной геометрической формы, используемый в виде наполняемых пористых набивок звукопоглощающим веществом полостей шумозаглушающих камер глушителей (глушителей шума системы выпуска отработавших газов ДВС) или заполнения полостей шумопередающих коробчатых сечений (например, силового каркаса кузова АТС).

**Материал звукопоглощающий (вибродемпфирующий), сыпучий** – материал в виде отдельных обособленных частиц пористого или мельчайших частиц плотного вещества, образующих пористую звукопоглощающую (вибродемпфирующую) структуру, при заполнении ограниченных полостей, например, полого трубчатого элемента тяги механизма управления коробкой передачи автомобиля, полого каркаса испытательного стенда или станины металлорежущего станка и т. п.

**Материал пластинчатый перфорированный** – плосколистовая или формованная неплоской геометрической формы металлическая или полимерная структура, содержащая многочисленные сквозные отверстия. Использование такого типа конструкционных структур позволяет достигать шумопонижающего эффекта за счет реализации в ней соответствующих динамических процессов и возникающих диссипативных потерь энергии звуковых волн в процессе их распространения (прохождения) через перфорированную структуру. При этом имеют место сопутствующие процессы резонансного трения в горлышках отверстий перфорации, при образующихся шумоподавляющих эффектах колебательных (акустических) резонансов воздушных объемов, заключенных в полостях горлышек и замкнутой полости, образуемой перфорированной пластиной и звукоотражающей поверхностью за ней.

**Материал плосколистовой** – материал, выпускаемый в виде отдельных плоских листов заданного геометрического размера.

**Материал формованный** (цельноформованный) – материал, образуемый в результате технологических операций формования, с последующим получением, как правило, неплоских деталей сложной геометрической формы, реализующей геометрическую топологию различной кривизны, пористости, плотности и т. д.

**Материал самоклеящийся** – материал, монтируемый на сопрягаемую поверхность детали механизма или машины, например панель кузова АТС, посредством имеющегося на его поверхности монтажного липкого клеевого слоя, защищенного слоем антиадгезионной бумаги или пленки (демонтируемой в процессе монтажа).

**Маскировка звука** – способность естественного постороннего (или искусственно созданного дополнительного) звукового излучения препятствовать (затруднять) свободному восприятию тех или иных звуковых сигналов (субъективному восприятию человеком или регистрации исследуемого звукового сигнала инструментальными измерительными средствами).

**Микрофон измерительный** – высокоточный первичный преобразователь звукового давления в пропорциональный выходной электрический сигнал.

**Многофункциональный конструктивный элемент машины, механизма, системы (АТС), наделенный выраженной акустической (шумопонижающей) функцией** – элемент, помимо своих основных функций (декоративной, несущей, термоизоляционной и др.), выполняющий попутную полезную шумопонижающую функцию.

**Модуль** – совокупность систем, подсистем и/или автомобильных компонентов, скомпонованных в автомобиле в непосредственной близости друг от друга (другое название – сборочный узел или сборочный комплект).

**Монополь акустический** – классический точечный излучатель звука типа пульсирующей сферы.

**Неустановившийся режим работы ДВС** – режим, при котором ДВС вырабатывает энергию, отличающуюся от той, которая необходима ему для преодоления внешней нагрузки или собственных механических потерь, при его работе без нагрузки (на холостом ходу).

**Нейтрализаторы отработавших газов ДВС** – устройства, выполняющие термическую и каталитическую нейтрализацию токсических компонентов, содержащихся в отработавших газах (ОГ). *При термической нейтрализации* ОГ происходит дожигание СН и СО с преобразованием их в  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  в полостях термических реакторов, за счет удлинения времени нахождения ОГ в высокотемпературной зоне. В полость термического реактора подается вторичный воздух, а также для процесса окисления используется свободный кислород, содержащийся в ОГ. Процесс термической нейтрализации ОГ является относительно малоэффективным. *При каталитической нейтрализации* ОГ происходит более эффективная нейтрализация токсических компонентов при примерно вдвое более низких температурах, необходимых для протекания реакций химических процессов. Каталитические нейтрализаторы подразделяются по типам на *двухкомпонентные – окислительные* (для СО и СН), *восстановительные* (для восстановления азота из  $\text{NO}_x$ ) и *трехкомпонентные* (нейтрализациях СО, СН и  $\text{NO}_x$ ).

**Обивка кузова АТС** (кабины водителя, пассажирского помещения, моторного отсека, багажного отделения) – конструктивный элемент, наделенный «полезными» акустическими свойствами (звукозоляционными, звукоглощающими), выполненный в виде панельного типа детали, монтируемой (свободно укладываемой, закрепляемой механическими держателями или адгезионными веществами) на несущих элементах кузова.

**Отражение звука** – физический процесс, возникающий при падении звуковой волны на препятствие и вызывающий образование отраженной волны, распространяющейся от препятствия обратно в среду, из которой пришла падающая волна.

**Октава (октавная полоса частот)** – частотный интервал между двумя звуками, значения частот которых отличаются вдвое.

**Отходы** – это всякое вещество или предмет, которые владелец выбрасывает или намеревается выбросить или подлежащее выбросу (согласно определению директивы 75/442 ЕС). АТС, вышедшие из эксплуатации, являются *отходами* и представляют собой значительную угрозу для окружающей среды ввиду их большой массы и наличия в них токсичных веществ, оказывающих вредное воздействие на здоровье людей и экосистемы. Ежегодно из эксплуатации выходит от 6 до 10% парка автомобилей (в Европе – примерно 12 млн шт., в Москве – более 150 тыс. шт.).

**Паскаль (Па)** – единица давления (в том числе звукового) и механического напряжения. 1 Па равен давлению, вызываемому силой 1 Н, равномерно распределенной по нормальной к ней поверхности площадью 1  $\text{m}^2$ .

1 кПа =  $10^3$  Па, 1 МПа =  $10^6$  Па, 1 ГПа =  $10^9$  Па, 1 мПа =  $10^{-3}$  Па, 1 мкПа =  $10^{-6}$  Па.

**Параметр** – показатель, характеризующий какое-либо свойство продукта, для которого в рамках конкретного применения присваивается определенное значение. Например: масса, коэффициент аэродинамического сопротивления, жесткость, ускорение и т. д.

**Перфорированные отверстия (отверстия перфорации)** – несколько (не менее двух) отверстий заданной идентичной геометрической формы и площади, расположенных друг относительно друга и/или относительно другого конструктивного элемента детали

(узла) на заданном расстоянии. Перфорации – от латинского *perforato* – пробиваю, про-калываю – технологический процесс выполнения отверстий заданных размеров, расположенных соответствующим образом в структуре изготавливаемой детали (узла).

**Переработка АТС** – процессы проведения сбора, транспортировки, разборки, утилизации АТС и захоронения неутилизируемых *отходов*.

**Переработка вторичная** – переработка *отходов* в производственном процессе для первоначального использования или для других целей, за исключением энергетической утилизации.

**Пленки полимерные** – сплошные слои полимеров толщиной до 0,25 мм. Изготавливаются из полиэтилена, полипропилена, поливинилхлорида, полистирола, хлоридов, полиолефинов, эфиров целлюлозы и других материалов. Могут наделяться защитными, декоративными, звукопрозрачными свойствами.

**Пластина** – механическая структура, в которой главным фактором, обуславливающим ее упругие свойства, является жесткость (в этом основное отличие пластины от мембранны, жесткостью которой можно пренебречь ввиду ее незначительности по сравнению с натяжением).

**Подбор (перебор) селективный** альтернативных технических решений предусматривает как сортировку, так и группирование мероприятий по достигаемым и целевым значениям шумопонижающих эффектов с учетом технологических, эксплуатационных, экологических и стоимостных параметров.

**Поле акустическое (звуковое)** – физический процесс генерирования и распространения в упругой среде (газообразной, жидкостной, твердой) акустических волн, вызванных действием сторонних механических, газодинамических, электромагнитных, сейсмических, биологических источников колебаний. Представляет совокупность пространственно-временных распределений физических параметров в упругой среде, характеризующих рассматриваемое звуковое возмущение.

**Покрытие ковровое ворсованное волокнистое иглопробивное** – ковровое покрытие, содержащее пористое воздухопропускаемое или плотное вязкоэластичное несущее основание, на котором с использованием технологического процесса ворсования (вытеснения) иглообразным инструментом тонкие волокна образуют ворс (начес) на поверхности несущего основания.

**Полезная модель** – техническое решение, относящееся к устройству. Полезная модель признается соответствующей условиям патентоспособности, если она является новой и промышленно применимой. Патент на полезную модель действует до истечения десяти лет с даты подачи (регистрации) заявки в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности. Срок действия патента на полезную модель может быть продлен федеральным органом исполнительной власти по интеллектуальной собственности по ходатайству патентообладателя, но не более чем на три года.

**Полюс** – комплексная величина, описывающая форму амплитудной и фазовой кривых частотно-передаточной функции и характеризующая качественный критерий динамических свойств колебательной системы.

**Пористость** – отношение объема пустот в пористой структуре образца материала к общему объему образца.

**Пористая вязкоэластичная структура акустического материала** – структура составного пористого слоя акустического материала, обладающая свойством оказывать сопротивление перемещению одной его части относительно другой и способная восстанав-

ливать свою первоначальную форму после прекращения действия нагружающей силы (звукового давления, вибрации).

**Поверхность звукоизлучающая** – колеблющаяся поверхность, обращенная к упругой среде и создающая в пограничном слое переменное давление, которое последовательно сообщается (передается) к более удаленными слоям среды в виде генерируемых ею звуковых волн.

**Поглотители звука объемного типа (пустотельные резонаторы).** Обеспечивают высокое эффективное звукопоглощение в выраженным узком диапазоне частот. Механизм поглощения базируется на возбуждении большеамплитудных вынужденных резонансных колебаний воздуха в горлышике (горлышках) резонатора с сопутствующим преобразованием работы (энергии) на совершение этих колебаний в необратимо рассеиваемую тепловую энергию (резонаторы Гельмгольца).

Резонансная частота резонатора Гельмгольца ( $f_{pes}$ ):

$$f_{pes} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{l \cdot V}}, \text{ Гц},$$

где  $c$  – скорость звука, м/с;  $S$  – площадь поперечного сечения горлышка, м<sup>2</sup>;  $l$  – длина горлышка, м;  $V$  – объем полости камеры резонатора, м<sup>3</sup>;  $\pi = 3,14$ .

**Поле звуковое ближнее (гидродинамическое)** – пространство вблизи непосредственного излучателя звуковой энергии, в котором не соблюдается закон обратно пропорционального изменения звукового давления от квадрата расстояния до источника (согласно указанному закону уменьшение уровня звукового давления на 6 дБ соответствует удвоению расстояния до источника). Это звуковое поле, в котором фазы мгновенного звукового давления и мгновенной колебательной скорости частиц упругой среды являются существенно различными.

**Поле звуковое свободное** – звуковое поле в однородной изотропной среде, границы которой оказывают незначительное воздействие на звуковые волны. В свободном звуковом поле (*далнем звуковом поле*) соблюдается закон обратной пропорциональности изменения звукового давления от квадрата расстояния до сферического источника излучения звука (изменение уровня звукового давления на 6 дБ – при удвоении расстояния от источника).

**Постоянная помещения** – звукопоглащающая способность помещения, количественно оцененная в м<sup>2</sup> площади поверхности со 100% поглощением (с коэффициентом звукопоглощения, равным 1).

**Поглотители мембранные или панельные.** Звукопоглощение в мембранных поглотителях наиболее эффективно на низких частотах. Частота максимального поглощения (на резонансной частоте мембранных поглотителя) определяется массой вибрирующей панели, ее жесткостью и толщиной образованного воздушного зазора за панелью:

$$f_{pes} = \frac{60}{\sqrt{md}}, \text{ Гц},$$

где  $f_{pes}$  – частота максимального поглощения, Гц;  $m$  – удельная поверхностная масса панели, кг/м<sup>2</sup>;  $d$  – толщина воздушного зазора, м.

Коэффициент звукопоглощения мембранных поглотителя зависит от степени демпфирования системы. С увеличением демпфирования фактически уменьшается коэффициент звукопоглощения, хотя и расширяется диапазон частот, на котором происходит звукопоглощение. Для повышения эффективного звукопоглощения следует обеспечивать надежную герметичность воздушного пространства, если длина волны на резонансной частоте, больше чем поперечные размеры панели. При невыполне-

нии этого условия может уменьшиться жесткость воздушного объема (пространства за поглотителем). Следовательно, понизится резонансная частота, на которой обеспечивается эффект максимального звукопоглощения. Точное определение максимального звукопоглощения на резонансной частоте мембранных (панельных) звукопоглотителей является довольно сложным, с неоднозначной оценкой взаимовлияния различных факторов. Обычно считается, что реверберационный коэффициент звукопоглощения для панельных звукопоглотителей, используемых в промышленности, равен  $\sim 0,4$ .

**Полиуретаны (ПУ)** – синтетические полимеры, содержащиеся в основной цепи макромолекулы, повторяющиеся группы (уретановые группы). Образуются при взаимодействии ди- или полиизоцианатов с двух- или трехатомными спиртами. Обладают высокой износо-, атмосферо- и кислотостойкостью. Применяются для пенопластов, kleев, пленок, лаков, волокон и т. п. Открытоячеистые пенополиуретаны (ППУ) – один из наиболее распространенных видов звукопоглощающих материалов, используемых в автомобильной промышленности.

**Полиолефины** – продукты гомо- или сополимеризации олефинов (этилена, пропилена, бутиленов и др.). Занимают первое место среди синтетических полимеров по объему производства (полиэтилен, полипропилен, полизобутилен, этилен-пропиленовые каучуки).

**Полипропилен (ПП)** – твердый продукт полимеризации пропилена, плотность 905...920 кг/м<sup>3</sup>, плавится при 160...176°C, нерастворим в органических растворителях, устойчив к действию кипящей воды и растворов щелочей, разрушается в неорганических кислотах, характеризуется высокой ударной прочностью, стойкостью к многократному изгибу и истиранию, низкой паро- и газопроницаемостью, хорошими диэлектрическими свойствами, невысокой термо- и светостойкостью. Применяются в производстве волокон, пленок, труб для агрессивных жидкостей. В автомобильной промышленности используется в качестве конструкционного материала корпусных деталей систем автомобилей (впуска и охлаждения ДВС, системы вентиляции и отопления). Полипропиленовые волокна – синтетические волокна, получаемые формованием из расплава полипропилена. Используются при изготовлении обивочных материалов, ковров, брезентов и пр. (в том числе для АТС).

**Полистирол (ПС)** – твердый продукт полимеризации стирола, плотность 1050 кг/м<sup>3</sup>, стоек в воде, в разбавленных растворах кислот и щелочей, физиологически безвреден, обладает невысокими прочностными характеристиками и теплопроводностью. Применяется в производстве пенопластов. Из-за большой хрупкости полистирола в производстве изделий применяют сополимеры стирола с бутадиеновым каучуком (ударопрочный полистирол) или АБС-пластик, широко используемый для изготовления деталей интерьера (облицовок) АТС.

**Поливинилхлорид (ПВХ)** – твердый продукт полимеризации винилхлорида. Плотность 1350...1430 кг/м<sup>3</sup>, выше 110°C – разлагается с выделением HCl. При введении в ПВХ до 10% пластификатора получают жесткий материал с высокими показателями механических свойств (винилпласт), используемый в производстве коррозионно-стойких труб, листов, пленок. ПВХ, содержащий до 100% (от массы полимера) пластификатора, – эластичный и морозостойкий материал (пластикат), который применяется для изготовления гибких листов, фасонных изделий, изоляции кабелей. Дисперсии порошкообразного ПВХ в пластификаторах (пластизоли) – сырье в производстве искусственных кож, покрытий полов. Из растворов ПВХ в органических растворителях получают пленки и волокна. Используется в конструкциях АТС, как правило, в виде защитных и декоративных покрытий деталей.

**Поливинилацетат (ПВА)** – твердый продукт полимеризации винилацетата. Плотность – 1190 кг/м<sup>3</sup>. Отличается заметной хладотекучестью. Растворим во многих органических растворителях. Нетоксичен. Для ПВА характерна высокая адгезия к тканям, коже. Является основой kleев, пропиточных составов, эмульсионных красок.

**Полиэтилен (ПЭ)** – твердый продукт полимеризации этилена. Плотность – 913...978 кг/м<sup>3</sup>, плавится при 102...137°C. Сочетает высокую прочность при растяжении с эластичностью, хороший диэлектрик, устойчив к растворам щелочей, соляной и органическим кислотам, стоек к действию радиоактивных излучений, физиологически безвреден. Применяется в производстве пленок, емкостей, труб для агрессивных жидкостей, изоляции проводов и т. д.

**Полимеризация** – синтез полимеров, основанный на последовательном присоединении молекулы мономера к активному центру на конце растущей цепи.

**Поглощение звука** – явление необратимого перехода энергии, распространяемой в среде звуковой волны, в другие виды энергии, в частности тепло.

**Податливость динамическая** – оценочный параметр, который представляет собой отношение колебательного смещения к вызывающей его силе.

**Покрытие звукопрозрачное** – покрытие, обладающее свойствами звукопрозрачности (см. термин «звукопрозрачность»), наносимое на лицевую поверхность пористого звукопоглощающего материала и предназначенное для его защиты от загрязнения, попадания твердых частиц в поры материала, для предотвращения поглощения порами материала ГСМ, т. е. факторов, снижающих звукопоглощающие свойства материала, а также для уменьшения гидравлического (газодинамического) сопротивления обтекания потоком воздуха звукопоглощающей панели (при установке панелей из пористого шумопоглощающего материала в местах прохождения высокоскоростных воздушных потоков, например, в воздуховодных каналах ОВС пассажирского помещения или кабины АТС, в полости корпуса воздухоочистителя системы впуска ДВС и т. п.).

**Порозо** – пористый звукопоглощающий материал, изготовленный из разволокненных отходов текстильной промышленности (синтетических нитей, трикотажа, шерстяных или полуsherстяных тканей и др.), продуктов вторичной переработки волокнистых деталей шумопонижающего комплекта автомобилей, отслуживших свой срок, или технологических отходов производства деталей шумоизоляции (продукция рисайклинга). Используется в качестве составного слоя звукопоглощающих и звукоизолирующих материалов.

**Потери диссипативные** – необратимое рассеивание (потеря) энергии (в данном случае – колебательной).

**Повторное использование компонентов АТС** – комплекс технологических процессов и мероприятий, при которых *компоненты* (детали, узлы, системы, агрегаты, модули) вышедшего из строя (завершившего свой жизненный цикл) АТС используются для тех же целей, для которых они предназначались при изготовлении АТС.

**Подсистема** – совокупность меньшего, чем в *системе*, количества деталей, интегрирующая более одной технологии (например, электронный блок управления антиблокировочной системы).

**Пористость** – отношение объема пустот в пористой структуре образца материала к общему объему образца.

**Продольная центральная плоскость транспортного средства** – плоскость, перпендикулярная к плоскости опорной поверхности и проходящей через середину колеи АТС.

**Производство безотходное** – одно из современных направлений развития промышленного производства (в том числе – автомобилестроения), предусматривающее комплексное использование сырьевых и энергетических ресурсов без ущерба окружающей среде. Основные принципы организации безотходного производства – разработка и внедрение новых технологических процессов, уменьшающих количество отходов, создание методов и оборудования для переработки технологических отходов в товарную продукцию, включая утилизацию отходов одного производства при использовании их в качестве сырья для другого производства.

**Прокладка шумопоглощающая кузова (шумоактивного агрегата или системы)** АТС – конструктивный элемент, наделенный «полезными» звукопоглощающими свойствами, выполненный в виде вырубной плосколистовой детали заданной толщины и геометрического контура, монтируемой (свободно укладываемой или закрепляемой на сопрягающейся поверхности липким клеевым веществом) на поверхности кузовной панели, стенке корпусной детали шумоактивного агрегата или системы. Является упрощенным конструктивным вариантом исполнения обивок кузова, а также имеет более широкое распространение по применению в конструкциях АТС (агрегатах и системах).

**Промышленный образец** – вид охранного документа защиты интеллектуальной собственности заявителя. В качестве промышленного образца охраняется художественно-конструкторское решение изделия промышленного или кустарно-ремесленного производства, определяющее его внешний вид. Патент на промышленный образец действует до истечения десяти лет с даты подачи (регистрации) заявки в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности. Срок действия патента на промышленный образец может быть продлен федеральным органом исполнительной власти по интеллектуальной собственности по ходатайству патентообладателя, но не более чем на пять лет.

**Преобразователь** – устройство (прибор), воспринимающее воздействие извне и преобразующее его в сигнал (звуковой, электрический), удобный для дальнейшей передачи или переработки.

**Проводимость акустическая** – величина, обратная акустическому импедансу (см. термин «акустический импеданс» и «акустическое сопротивление»). **Удельная акустическая проводимость поверхности** – отношение колебательной скорости частиц ( $v$ ) на этой поверхности к звуковому давлению ( $p$ ):

$$X = \frac{V}{p}$$

**Промышленная (техническая, инженерная) акустика** – область прикладных инженерных знаний, охватывающая изучение (исследование) процессов распространения и поглощения энергии вибрационных колебаний и звуковых волн в различных упругих средах (газообразных, жидких, твёрдых), генерируемых разнообразными техническими объектами. Такого типа виброзвукогенерирующими (виброшумогенерирующими) техническими объектами являются наземные, воздушные и водные транспортные средства, энергетические установки, производственно-технологическое оборудование, электроакустические установки, дорожно-строительная и горнодобывающая техника, санитарно-техническое оборудование и бытовая техника.

Основные задачи, решаемые данной научно-технической дисциплиной, заключаются в разработке эффективных технических средств ослабления вибрационной энергии и изменения её спектрального состава до приемлемых значений уровней, регламентированных законодательными нормами международных и национальных стандартов, а также в целенаправленном формировании (синтезе) «привлекательно-

комфортных» и/или «информационных» для восприятия человеком вибраакустических сигналов, генерируемых как непосредственно виброшумоактивными техническими объектами, так и применяемыми искусственными излучателями звука и/или использовании дополнительных технических устройств пассивного заграждения передачи вибраакустической энергии на путях её распространения, включая архитектурно-строительные сооружения или соответствующие организационные мероприятия.

Техническая область промышленной акустики не включает способы и устройства акустической локации технических и/или биологических объектов, оружейных средств инфразвуковых излучений, технологических и диагностических процессов, использующих технические устройства ультразвуковых колебаний в машиностроении, химической и пищевой промышленности, строительной индустрии и медицине. Отдельными разделами акустики как составной части физики являются архитектурно-строительная, психологическая, физиологическая, биологическая, молекулярная, музыкальная акустика, которые также не рассматриваются в курсе «Промышленная акустика».

**Расход** – величина, определяемая отношением массы (массовый расход) или объема (объемный расход) вещества, перемещаемого через сечение канала транспортировки, перпендикулярно направлению движения потока, к промежутку времени, за который это перемещение происходит. Соответственно, расход выражается в кг/с и м<sup>3</sup>/с. В АТС расход топлива выражается в литрах на 100 км эксплуатационного пробега (на заданных режимах в условиях эксплуатации).

**Режим работы ДВС** – определенная совокупность параметров рабочего процесса, факторов внешней среды и нагрузки, обеспечивающих ДВС определенные мощностные, экономические и экологические показатели.

**Рационализация** – усовершенствование, введение более совершенных технических или организационных решений, которые являются новыми и полезными для производственных предприятий, выпускающих данную продукцию. В отношении шумопонижающих материалов и конструкций подразумевает усовершенствование, включающее введение более эффективных технических (конструктивных, технологических) решений, которые являются новыми и полезными для улучшения акустических качеств деталей, узлов, агрегатов или систем АТС.

**Распространение волноводное** – распространение волн в упругих средах, ограниченных, по крайней мере, двумя звуконепроницаемыми стенками. В таком ограниченном пространстве волны расходятся только в двух измерениях, поэтому звуковые давления хоть и ослабляются при распространении, но медленнее, чем в неограниченной среде. Вместо убывания звукового давления по закону обратной пропорциональности расстоянию от источника излучения (соблюдающегося при свободном неограниченном сферическом излучении звука), в ограниченном слое имеет место обратная пропорциональность звукового давления корню квадратному из расстояния от источника излучения.

**Релаксация акустическая** – внутренние процессы восстановления термодинамического равновесия среды, нарушающегося сжатиями и разрежениями в звуковой волне. Акустическая релаксация сопровождается поглощением звука.

**Режим тепловой** – температурное состояние технического объекта (машины, агрегата, узла), т. е. пространственно-временное распределение температуры в составных элементах технического объекта.

**Режим работы ДВС** – определенная совокупность параметров рабочего процесса, факторов внешней среды и внешней нагрузки, обеспечивающих ДВС определенные мощностные, экономические и экологические показатели.

**Резонанс совпадений** – это совпадение длины изгибной волны, распространяющейся по панели, с длиной волны следа падающей звуковой волны на эту панель.

**Резонатор акустический** – в АТС это автономные частотно-настроенные шумозаглушающие устройства, выполненные, например, в виде обособленных *глушителей шума* газодинамических потоков систем впуска и выпуска отработавших газов ДВС (реже – систем вентиляции картера или подачи вторичного воздуха в трубопровод, выпуска отработавших газов). Наибольшее распространение получили *резонаторы Гельмгольца* и *четвертьволновые резонаторы*.

**Реверберация** – физическое явление излучения, распространения, отражения и затухания звуковых волн, в результате которого после выключения источника излучения звука имеют место (продолжаются) процессы распространения, отражения и затухания звука, протекающие некоторое время.

**Рисайклинг (рециклирование) автомобиля** – комплекс процессов и мероприятий, обеспечивающий повторное использование и вторичную переработку компонентов и материалов отслужившего свой жизненный цикл автомобиля [директива 2000/53/ЕЭС].

**Свойство** – отличительная характеристика продукта, выражающая такую его сторону, которая обуславливает его отличие или общность с другим продуктом.

**Сила диссипативная** – противодействующая сила в динамической системе, характеризующая механические потери, в которой полная механическая энергия непрерывно уменьшается (рассеивается), переходя в другие формы энергии (например, в энергию хаотичного теплового движения).

**Сила динамическая** – переменная во времени внешняя сила (в отличие от *статической силы*), не зависящая от состояния системы.

**Сила статическая** – постоянная по величине (во времени), действующая на объект внешняя сила (нагрузка).

**Сигнал** – материальная форма информации для ее передачи, приема, преобразования, хранения и использования.

**Система** – совокупность взаимосвязанных технических объектов, объединенных единой целью и общим алгоритмом функционирования.

**Система нелинейная** – система, процессы в которой не могут быть исследованы в линейном математическом приближении (см. также термин «*искажения нелинейные*»).

**Система газодинамическая прямоточная** – система, транспортирующая газовый поток (воздушный, отработавшие или картерные газы) в ДВС (системе впуска, выпуска отработавших газов, вентиляции картера, подачи вторичного воздуха, рециркуляции ДВС) при демонтированных штатных элементах из состава отмеченных систем (воздухоочистителе, глушителе, нейтрализаторе и т. д.). Демонтированные из состава систем элементы замещаться соответствующей длины гладкими трубопроводными вставками (с сохранением неизменной по отношению к штатной габаритной длины трассы прямоточной системы).

**Система газообмена ДВС** – технические устройства (модули, элементы) ДВС, обеспечивающие смену *рабочего тела* в цилиндрах при осуществлении процессов впуска и выпуска.

**Скорость частиц колебательная** – скорость, с которой по отношению к упругой среде распространения движутся частицы (бесконечно малые части среды), колеблющиеся около положения равновесия, при прохождении звуковой волны. При прохожде-

нии звуковых волн по среде распространения их колебательная скорость многократно ниже скорости звука в среде.

**Случайный шум** – шум сплошного спектра, вызываемый случайными колебаниями давления (скорости и т. п.).

**Соединения высокомолекулярные, полимеры** – вещества, молекулярная масса которых лежит в пределах от нескольких тысяч до многих миллионов.

**Сопротивление удельное акустическое  $Z$**  – определяет передающие свойства среды применительно к звуковым волнам.

$$Z = \frac{p}{V} = \rho c,$$

где  $p$  – звуковое давление, Па;  $V$  – колебательная скорость, м/с;  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  – скорость звука, м/с.

Для воздуха при температуре +20°C и давлении 1013 гПа (760 мм рт. ст.)  $Z = 415 \text{ Н} \times \text{с}/\text{м}^3$ . Для воды при температуре +20°C  $Z = 1,44 \text{ Н} \times \text{с}/\text{м}^3 = 1,44 \times 10^6 \text{ Н} \times \text{с}/\text{м}$ .

**Сопротивление излучения источника ( $r_{cu}$ )** – величина, определяющаяся отношением силы реакции среды  $F$ , действующей на излучаемую акустическую волну, поверхностью излучателя (источника), к скорости смещения этой поверхности  $\xi$ :

$$r_{cu} = F / \xi.$$

В случае если поле плоских бегущих волн создается колебаниями поршня, помещенного в конце бесконечной трубы, то величина давления в пограничном слое

$$p = \rho c \xi,$$

где  $\rho c$  – акустическое сопротивление среды в трубе.

Тогда сила реакции среды  $F$  на всю поверхность поршня  $S_n$  будет равна

$$F = p S_n = \rho c \xi S_n, \quad \text{а } r_{cu} = \rho c S_n.$$

Таким образом, сопротивление излучению  $r_{cu}$  равно волновому сопротивлению среды  $\rho c$ , умноженному на площадь излучающей поверхности.

**Спектр звука** – совокупность гармонических колебаний, на которые может быть разложен звуковой процесс. Для случайных процессов вводится понятие *энергетического спектра* звука, представляющего среднюю энергию или интенсивность, приходящуюся на заданный частотный интервал, и относимого к средней (среднегеометрической) частоте в этом интервале.

**Среда анизотропная** – среда, свойства которой в разных направлениях различны. Эти свойства определяются либо строением самой среды, либо внешним воздействием (так называемая искусственная анизотропия).

**Среда изотропная** – среда, свойства которой во всех направлениях одинаковы.

**Среда упругая** – среда, обладающая объемной упругостью, в которой возможно распространение акустических волн.

**Структура звукопоглощающая, плетено-волокнистая** – пористая воздухопропускающая структура, выполненная технологическим процессом переплетения длинных волокон натуральных или синтетических материалов.

**Технологичность** – соответствие изделия требованиям производства и эксплуатации, которые обеспечиваются при разработке конструкции изделия. Технологичной считается такая конструкция изделия или ее составных элементов (узла, агрегата, системы), которая обеспечивает заданные эксплуатационные качества продукции и позволяет при данной серийности изготавливать ее с наименьшими затратами труда и материалов. Технологичная конструкция характеризуется простотой компоновки,

совершенством форм, расположение отдельных элементов обеспечивает удобство и минимальную трудоемкость при сборке и ремонте.

**Термоакустические экраны АТС** – многофункциональные плосколистовые, цельно-формованные, металлические или полимерные экраны элементы, преимущественно используемые на легковых автомобилях. Монтируются с внешней стороны пола кузова (в подднищевой зоне кузова) в местах прохождения трассы системы выпуска отработавших газов, выраженного неплоского рельефа кузовных панелей, крепления отдельных агрегатов автомобиля. Обеспечивают улучшенную термоизоляцию кузовных панелей (ослабляют термическое воздействие на полимерные покрытия и обивки, смонтированные на кузовных панелях), повышают звукоизоляцию пространства пассажирского помещения от передачи шумового излучения из подднищевой зоны, снижают аэродинамическое сопротивление автомобиля, улучшают коррозионные свойства кузова.

**Термоакустические пробки АТС** – элементы герметизации (звукоизоляции) пустотелых коробчатых элементов кузова легкового автомобиля (порогов, стоек, лонжеронов, усилителей), являющихся акустическими волноводами по передаче звуковой энергии из зашумленных пространств (моторного отсека, подднищевой зоны кузова, багажного отделения) в пространство пассажирского помещения (кабину водителя). Наряду с функцией улучшения акустических характеристик автомобиля, использование таких заградительных элементов исключает передачу в пассажирское помещение посторонних газообразных веществ, пыли, улучшает его температурный комфорт и т. п., вследствие повышения герметичности замкнутого пространства пассажирского помещения от внешней среды.

**Типизация** – метод унификации, состоящий в разработке типовых решений для применения их при создании новых изделий, процессов или проведении соответствующих работ.

**Труба измерительная (Труба Кундта)** – инструментальное измерительное средство для лабораторных акустических измерений, отражающих, изолирующих и поглощающих свойства образцов материалов, базирующееся на свойстве генерировать плоские звуковые волны при произвольном характере источника звука. Требование к измерительной трубе – обеспечение жесткости стенок измерительной трубы и соблюдение правильных соотношений между диаметром  $d$  трубы и длиной звуковой волны  $\lambda$  в заполняющей измерительную трубу воздушной среде:  $d < \lambda/2$ , длина измерительной трубы ( $L$ ) должна составлять не менее 5...7 длин исследуемых звуковых волн ( $\lambda$ ).

**Требование** – выражение в нормативном документе (стандарте), содержащее критерии (параметры), которые необходимо соблюдать в случае заявления о соответствии данному документу и отклонение от которых недопустимо.

**Упругость** – свойство тела восстанавливать свою форму и объем (твёрдые тела) либо только объем (жидкие и газообразные тела) после прекращения действия внешних сил или других причин (например, нагревания), вызывающих деформацию тела. Тело, обладающее этим свойством, называется упругим. В области упругих деформаций тел справедлив закон Гука.

**Уровень звука (уровень шума  $L_p$ ) (А, В, С, D)** – двадцатикратный логарифм отношения воспринимаемого (регистрируемого) звукового давления  $p$  к нормированному (стандартизированному) пороговому значению, равному  $P_0 = 2 \times 10^{-5}$  н/м<sup>2</sup>, замеренный с применением корректирующей характеристики А (В, С, D) шумометра

$$L_{P(A, B, C, D)} = 20 \lg \left( \frac{P}{P_0} \right), \text{дБ (A, B, C, D)}.$$

**Уровень звуковой мощности** — полная звуковая энергия, излучаемая источником за 1 с, выраженная в дБ (см. термин «децибел»).

**Уровень шума эквивалентный** — уровень постоянного шума, который в данной ситуации и в данный период времени обладает той же энергией, что и переменный во времени шум.

**Условия свободного поля** — условия распространения звуковых волн, в которых отсутствуют какие-либо отражения звука, а изменение уровней звукового давления составляет 6 дБ — при каждом удвоении расстояния от точечного сферического источника излучения звука (подчиняется закону обратных квадратов).

**Установка лабораторно-стендовая «Кабина Альфа»** — малогабаритная реверберационная камера, предназначенная для определения оценочного параметра «реверберационный коэффициент звукопоглощения» и «эквивалентная площадь звукопоглощения» образцов плосколистовых звукопоглощающих материалов или полномасштабных крупногабаритных формованных деталей (обивок, панелей) в имитационных условиях воздействия диффузного звукового поля.

**Установка лабораторно-стендовая «Труба Кундта»** — акустический интерферометр, предназначенный для определения параметров «нормальный коэффициент звукопоглощения», «нормальный импеданс» (акустическое сопротивление), «комплексная постоянная распространения» звука и «комплексное безразмерное акустическое сопротивление» малогабаритных (диаметром 100 и 30 мм) плоских образцов звукопоглощающих материалов.

**Утилизация** — процесс потребления *отходов* с пользой, любое из соответствующих действий, предусмотренных приложением II В к директиве 75/442 ЕЭС.

**Утилизация энергетическая** — использование горючих отходов в качестве средства для выработки энергии путем непосредственного сжигания в сочетании с другими отходами и отдельно, но с регенерацией тепла.

**Фактор направленности** — отношение квадрата звукового давления, замеренного в произвольной точке сферы (полусфера), охватывающей на заданном расстоянии (радиусе) источник излучения, к квадрату звукового давления, усредненному по всем измерительным точкам, расположенным на измерительной поверхности указанной сферы (полусфера).

**Фаза** — аргумент функции, описывающей гармоническое колебание. При разности фаз, равной 0, колебания синфазны, равной  $\pi$  — противофазны, равной  $1/2\pi$  — находятся в квадратуре. В плоской бегущей волне колебательная скорость частиц и звуковое давление — синфазны, в стоячей — находятся в квадратуре.

**Фенол** — гидроксибензол, карбоновая кислота ( $C_6H_5OH$ ). Это бесцветные кристаллы с характерным запахом. Является исходным сырьем в производстве органических клеевых адгезивов, фенолоформальдегидных смол, которые широко использовались в качестве связующих веществ в технологиях производства цельноформованных волокнистых шумоизоляционных обивок для АТС. В настоящее время использование фенолосодержащих цельноформованных шумоизоляционных обивок для кабины водителя (пассажирского помещения) в большинстве Европейских стран не допускается ввиду вредного воздействия фенола на организм человека. В это же время шумоизоляционные обивки (шумопоглощающие панели), монтируемые в моторном отсеке и багажном отделении, могут содержать ограниченное количество фенолоформальдегидной смолы в качестве связующего вещества в составе пористой структуры материала.

**Фронт волновой** – поверхности равных фаз, в любой точке которых в данный момент времени фазы одинаковы для звуковых волн, распространяющихся от источника излучения.

**Функция передаточная** – отношение исследуемого параметра колебательного движения упругой среды (твердой, жидкой, газообразной) к параметру силы, вызывающему это движение.

**Частица среды** – любой мысленно выделяемый участок среды (игнорируя молекулярное строение вещества среды), малый по сравнению с расстоянием, на котором состояние среды изменяется существенным образом (например, по сравнению с длиной звуковой волны или толщиной вибрирующей пластины).

**Частота колебаний ( $f$ )** – число полных циклов колебаний за 1 секунду. Единицей частоты колебаний является Герц (одно колебание в секунду).

**Число волновое ( $k$ )** – характеризует волновое движение, равно отношению *круговой частоты колебаний ( $\omega$ )* к скорости распространения звуковых волн в упругой среде ( $c$ ):

$$k = \frac{\omega}{c}.$$

**Частота круговая (угловая) колебаний ( $\omega$ )** – частота колебаний, выраженная в рад/с:  $\omega = 2\pi f$ .

**Шум** – неприятный, раздражающий, вредный для здоровья человека (и других живых организмов), нежелательный звук.

**Шум белый** – генерирование и распространение звуковой энергии, характеризующееся случайным распределением фаз, непрерывным спектром и постоянной спектральной плотностью в определенном диапазоне частот.

**Шум розовый** – шум, который обладает постоянной энергией в каждой октавной полосе. В этом случае каждая октавная полоса указывает на количество звуковой энергии, обратно пропорциональное значению частоты. С ростом среднегеометрических значений частоты каждой из октав и двукратного роста числа частот, входящих в состав такой октавной полосы, их амплитуды уменьшаются в два раза (т. е. уровень звуковой энергии уменьшается на 3 дБ).

**Шум АТС внешний (наружный)** – совокупность звуков различных частот и амплитуд, производимых механизмами и системами АТС при реализации в них рабочих процессов и возникающих сопутствующих динамических нагрузок, формирующих звуковое поле вне габаритных пределов внутреннего пространства пассажирского помещения (кабины), моторного отсека, грузового отсека, багажного отделения АТС, оказывающих негативное влияние на окружающую среду (селитебные территории).

**Шум АТС внутренний** – совокупность звуков различных частот и амплитуд, производимых механизмами и системами АТС при реализации в них рабочих процессов и возникающих сопутствующих динамических нагрузок, формирующих звуковое поле внутри обитаемого пространства пассажирского помещения (кабины) АТС, оказывающих негативное психофизиологическое шумовое воздействие на водителя и пассажиров.

**Шум широкополосный** – шум, энергия которого распределяется в широком диапазоне частот (более одной октавы).

**Шумомер** – прибор для объективного инструментального измерения уровней шума. Требования к характеристикам шумомера содержатся в международных рекомендациях МЭК и отражены в ГОСТ 17187-81.

**Экраны шумоизолирующие АТС** – шумопонижающие устройства, относящиеся к средствам локального снижения шума агрегатов и систем, в том числе АТС (газораспределительного механизма ДВС, нижнего открытого проема моторного отсека, корпусных элементов типа каталитического коллектора и глушителей системы выпуска отработавших газов ДВС и т. д.). Наряду с внешней несущей оболочкой, выполняемой из плотного металлического или полимерного материала, как правило, содержат внутреннюю шумопоглощающую футеровку, которую целесообразно располагать в зонах наиболее интенсивного локального источника шумового излучения, при максимальном ее приближении непосредственно к источнику излучения шума (максимальном пространственном угле охвата источника излучения).

**Экранные элементы конструкций АТС** – элементы, ограждающие локализованные зоны отдельных шумоактивных узлов и систем АТС от окружающей их среды, используют не только для эффективного обеспечения функций шумопонижения, но и для попутного параллельного выполнения функций защиты от негативных атмосферных воздействий, механических повреждений, термоизоляции, декоративного дизайна, снижения аэродинамического сопротивления и т. д.

**Экспертная оценка** – определение качественных и/или количественных параметров объекта, не поддающихся непосредственному объективному измерению инструментальными средствами, или выполняемая параллельно с инструментальными оценочными измерениями, проводимая субъектами (экспертами) в виде устанавливаемых ими балльных оценок, основанная на статистической обработке оцениваемых характеристик либо на суждениях специально привлеченных для этой цели специалистов (технических экспертов).

**Эффективность акустическая** – указывает на конкретный шумопонижающий эффект от используемого того или иного конструктивного или технологического мероприятия (нового или модифицированного узла или системы АТС) при приемлемых остальных технических, экологических и стоимостных показателях.

**Эквивалентная площадь звукопоглощения ( $A$ )** – оценочный технический параметр звукопоглощающих свойств плосколистовых образцов материалов или полномасштабных неплоских объемных шумопоглощающих деталей, определяемый в условиях воздействия диффузного звукового поля, который сопоставляется с соответствующей эквивалентной площадью абстрактной плоской звукопоглощающей поверхности, обладающей 100% поглощением звуковой энергии. Реверберационный коэффициент звукопоглощения  $\alpha_r = 1,0$  усл. ед. количественно оценивается в  $\text{м}^2$  площади плосколистового образца, обладающего 100% поглощением звуковой энергии.

## Содержание

Предисловие .....	3
<b>1. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРУКТУР АКУСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ПОЛНОМАСШТАБНЫХ ДЕТАЛЕЙ АТС.....</b>	<b>5</b>
1.1. Методы исследований внутреннего шума АТС.....	5
1.2. Методы исследований внешнего шума АТС.....	11
1.3. Методы расчетно-экспериментальных исследований звукопоглощающих свойств структур акустических материалов и полномасштабных деталей.....	14
<b>2. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПРИМЕНЯЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЕТАЛЕЙ АТС, СОДЕРЖАЩИХ ПОРИСТЫЕ СТРУКТУРЫ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ.....</b>	<b>21</b>
<b>3. РАНЖИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ПОРИСТЫХ СТРУКТУР ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>31</b>
<b>4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ТИПОВ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ.....</b>	<b>39</b>
4.1. Исследования звукопоглощающих свойств панельных образцов материалов с перфорированными пористыми структурами.....	39
4.2. Исследования звукопоглощающих свойств узкополосных плосколистовых образцов пористых звукопоглощающих материалов.....	42
4.3. Исследования звукопоглощающих свойств дробленых пористых фрагментов звукопоглощающих панелей.....	47
<b>5. РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННЫХ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ШУМОПОГЛОЩАЮЩИХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ВОЗДУХОВОДНЫХ КАНАЛОВ ОТОПИТЕЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ (ОВС) ПАССАЖИРСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ (КАБИН ВОДИТЕЛЯ) АТС.....</b>	<b>52</b>
<b>6. РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР ОБИВОК ПАССАЖИРСКОГО ПОМЕЩЕНИЯ (КАБИНЫ ВОДИТЕЛЯ) АТС.....</b>	<b>62</b>
6.1. Многослойные обивки кузова с первичной (доминирующей) функцией звукопоглощения.....	62
6.2. Многофункциональные обивки кузова с вторичной функцией звукопоглощения.....	66

<b>7. РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОИСТЫХ СТРУКТУР ШУМОПОНИЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МОТОРНОГО ОТСЕКА АТС.....</b>	<b>71</b>
7.1. Многослойная звукопоглощающая структура кожуха привода ГРМ ДВС.....	71
7.2. Оболочечный объемный поглотитель звуковой энергии для моторных отсеков АТС.....	73
7.3. Конструктивные исполнения узкополосных футеровок верхнего декоративного экрана ДВС.....	76
7.4. Конструктивные исполнения узкополосных футеровок брызговиков моторного отсека АТС.....	79
<b>8. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ И РАЗРАБОТКИ ШУМОПОНИЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ МАШИН.....</b>	<b>83</b>
<b>9. ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКИХ РЕАЛИЗАЦИЙ АВТОРСКИХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ПОВЫШЕНИЕ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ШУМОПОНИЖАЮЩИХ ЭФФЕКТОВ ЭЛЕМЕНТАМИ КОНСТРУКЦИЙ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МАШИН.....</b>	<b>89</b>
<b>10. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМУ КУРСУ «ПРОМЫШЛЕННАЯ АКУСТИКА».....</b>	<b>175</b>
<b>11. ПРИМЕРЫ ОТВЕТОВ НА КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....</b>	<b>181</b>
<b>12. ПЕРЕЧЕНЬ ИЗВЕСТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, ИЗОБРЕТЕНИЙ И ПОЛЕЗНЫХ МОДЕЛЕЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ШУМОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ.....</b>	<b>185</b>
<b>Библиографический список.....</b>	<b>194</b>
<b>Глоссарий.....</b>	<b>200</b>

Учебное издание

*Фесина Михаил Ильич  
Краснов Александр Валентинович  
Горина Лариса Николаевна*

**ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ  
ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ  
И КОНСТРУКЦИЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Учебно-методическое пособие

Редактор *Е.Ю. Жданова*  
Технический редактор *З.М. Малявина*  
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*  
Дизайн обложки: *Г.В. Карасева*

Подписано в печать 19.11.2012. Формат 84×108/16.  
Печать оперативная. Усл. п. л. 23,94.  
Тираж 100 экз. Заказ № 1-76-11.

Издательство Тольяттинского государственного университета  
445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14

