

678
1783

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 678.01: 534.833.532 (043.3)

ПРОТАСЕНЯ Александр Владимирович

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СЛОЯМИ И ТЕХНОЛОГИЯ
ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов
05.02.01 – Материаловедение (машиностроение)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 2002

Работа выполнена в ЗАО «Солигорский Институт проблем
ресурсосбережения с Опытным производством»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
В.Я. Прушак, технический директор
ЗАО «Солигорский Институт
проблем ресурсосбережения
с Опытным производством»

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
В.П. Ставров, заведующий кафедрой
сопротивления материалов
УО «Белорусский государственный
технологический университет»

кандидат химических наук, доцент
В.Я. Полуянович, декан факультета
«Технология органических веществ»
УО «Белорусский государственный
технологический университет»

Оппонирующая организация:
Государственное предприятие «Научно-исследовательский институт
автотрак-торных материалов», г. Москва

Защита состоится "14" марта 2002 г. в 15⁰⁰ часов на заседании совета
по защите диссертаций Д02.08.04 в УО «Белорусский государственный
технологический университет», 220050, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, зал
заседаний ученого Совета
тел: 017-227-60-38, факс: 017-227-62-17

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УО «Белорусский
государственный технологический университет»

Автореферат разослан "8" февраля 2002 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
кандидат технических наук



О.Я. Толкач

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Уровень шума – один из основных показателей, характеризующий качество, комфортабельность и конкурентоспособность транспортных средств. Непрерывное ужесточение нормативных требований, предъявляемых к шумовым характеристикам, приводит к необходимости постоянного совершенствования состава и структуры звукоизолирующих материалов. Эти материалы должны соответствовать комплексу требований: обладать малой плотностью, хорошими акустическими характеристиками в широком диапазоне частот, сохранять работоспособность при воздействии высоких температур и агрессивных сред. Перечисленным требованиям в значительной мере удовлетворяют композиционные материалы, содержащие слои различного функционального назначения. Однако разработка и производство новых высокоэффективных звукоизолирующих композиционных материалов сдерживается недостатком научных данных о связи акустических свойств с параметрами их структуры и составом, а также ограниченными возможностями существующих технологий. Поэтому исследования в этом направлении являются актуальными и представляют значительный практический интерес.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Работа выполнена в соответствии с межотраслевой республиканской комплексной научно-технической программой "Машиностроение", задание 05.25 (1989-1993 гг.); республиканской научно-технической программой "Ресурсосбережение", задание 2.32, номер государственной регистрации 1999386 (1998-1999 гг.)

Цель и задачи исследований. Цель исследования - разработка звукоизоляционных материалов с функциональными слоями для транспортных средств и технологии их изготовления.

Для достижения поставленной цели были определены следующие основные задачи:

- рассчитать, используя законы прохождения звука в слоистых средах, коэффициенты звукопоглощения и показатели звукоизоляции листового композита, содержащего слои с различными частотными зависимостями акустических характеристик;
- исследовать влияние функциональных слоев и их расположение в многослойном материале на его акустические свойства и разработать новые материалы, обеспечивающие эффективное звукопоглощение и звукоизоляцию в частотном диапазоне 125–8000 Гц, в т.ч. материалы для работы при температурах до 250 °С и в агрессивных средах;
- установить связь технологии изготовления многослойных материалов с их акустическими характеристиками и разработать эффективные технологические процессы производства специальных шумоизолирующих материалов.

318ар

Объект и предмет исследования. Слоистые композиционные материалы на основе синтетического нетканого полотна, эластичного пенополиуретана с функциональными слоями из алюминиевой фольги, стеклоткани, базальтового картона, углеткани, полиэтиленовой пленки, тонкослойных металлополимерных покрытий с гладкой и шероховатой поверхностью, способы и технология соединения слоев, акустические характеристики пакета.

Методология и методы проведения исследования. Для расчета акустических характеристик использовали законы распространения волн в слоистых средах. Экспериментальные исследования коэффициента звукопоглощения и показателей звукоизоляции проводили на приборах фирмы «Брюль и Кьер» (Дания) и акустическом интерферометре оригинальной конструкции, включающем приставку с точным импульсным шумомером фирмы «VEB Robotron» и октавным фильтром для измерения падения уровня шума при прохождении его через образец. Влияние технологии соединения слоев изучали по акустическим характеристикам материала. Физико-механические свойства, огнестойкость и химстойкость определяли по стандартным методикам.

Научная новизна и значимость полученных результатов. Установлены закономерности прохождения звуковых волн через фольгированные сэндвичи, состоящие из нетканого полотна и эластичного пенополиуретана, рассчитаны их акустические характеристики, определена оптимальная по стабильности звукопоглощения во всем частотном диапазоне структура слоистого материала. Выявлен синергический эффект показателя звукоизоляции, частотная область проявления которого определяется толщиной звукоизолирующего слоя. Показано, что поглощающая способность трехслойного материала тем больше, чем ярче выражена рассогласованность импедансов соседних слоев.

Экспериментально исследовано влияние расположения и технологии соединения звукопоглощающих слоев различной плотности на акустические характеристики многослойного пакета. Установлено, что уменьшению энергии звуковых колебаний в области низких частот способствует расположение более плотных пористых слоев ближе к источнику звука. Для снижения веса звукопоглощающих конструкций предложено использовать пористо-волокнистые материалы с воздушным зазором между слоями, что позволяет увеличить коэффициенты звукопоглощения в диапазоне частот 150–500 Гц. Для материалов такой структуры характерна немонотонная частотная зависимость коэффициента звукопоглощения, точки подъема и максимума которого смещаются в низкочастотную область при увеличении воздушного зазора.

Показана возможность управления акустическими свойствами многослойных материалов путем перехода от сплошного клеявого соединения

звукопоглощающих слоев к дискретному, а также перфорированием звукоизолирующего слоя. Определены оптимальные геометрические параметры адгезионных соединений и перфорационных отверстий.

Установлено, что тонкий фронтальный слой с минеральными (корунд, магнетит, сульфиды) частицами размером 0,1–1 мм способствует увеличению коэффициента звукопоглощения в диапазоне частот до 800 Гц. При использовании дисперсных частиц полистирола этот эффект проявляется в более широком (до 1000 Гц) диапазоне частот независимо от положения этого слоя по отношению к источнику звука и места расположения в пакете.

Показано, что управление топографией шероховатого слоя позволяет сместить максимум коэффициента звукопоглощения в третьоктавную полосу с наибольшим уровнем шума, который должна снизить шумоизолирующая конструкция конкретного узла.

Практическая и экономическая значимость полученных результатов. Разработана технология соединения слоев с использованием полиэтиленовой пленки, основанная на прокатывании пакета между нагретыми до температуры 230–250°C валками, позволяющая исключить применение адгезива, снижающего звукопоглощение.

Разработаны технологии производства листовых пористо-волоконистых материалов с воздушным зазором между слоями и модифицирования защитного слоя звукоизолирующего материала перфорацией или нанесением на него дисперсных частиц.

Разработан комплекс новых теплошумоизоляционных материалов для автомобильной промышленности. Материал для моторного отсека автобусов включает алюминиевую фольгу и углеродную ткань, а также звукопоглощающий трехслойный пористо-волоконистый пакет. Многослойный звукоизоляционный материал, содержащий волоконистый холст из смеси химических волокон, помещенный между двумя парами слоев стеклоткани, углеродную ткань и промежуточные слои полиэтиленовой пленки, обеспечивает хорошее звукопоглощение, защищен от влаги и грязи.

Разработаны технология получения и структура слоистого материала с базальтовым картоном и металлизированной влагожиростойкой бумагой в качестве теплоизолирующего материала для узлов транспортных средств с высокой (до 250°C) температурой нагрева при эксплуатации. Технология получения и материалы защищены патентами Республики Беларусь (№ № 1472, 1480, 1672, 2070).

В ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» организован выпуск разработанных материалов. Они используются Минским автомобильным заводом для теплошумоизоляции моторных отсеков и салонов городских автобусов МА3-103, МА3-104, МА3-105 и

междугородного – МАЗ-152. Разработанные материалы используются также для звукоизоляции кабин тягачей на Минском заводе колесных тягачей и дорожных машин ПО «АМКОДОР», применяются фирмой «ТУРТРАНС» для теплошумоизоляции прицепа-фургона «Купава» и автобусов на Опытном заводе «Неман» (г.Лида). Экономический эффект за 1999-2000 гг. в результате применения разработанных материалов составил 132,86 млн. рублей.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

- Результаты расчета акустических характеристик фольгированных слоистых материалов.
- Закономерности влияния параметров структуры, состава и технологии соединения функциональных слоев на акустические характеристики шумоизоляционных материалов.
- Технологические методы управления звукоизолирующими и звукопоглощающими свойствами функциональных слоев.
- Новые многослойные композиционные материалы для шумоизоляции транспортных средств, технологии их производства и результаты применения на автотранспортных предприятиях Беларуси.

Личный вклад соискателя.

Автор принимал непосредственное участие в постановке задач исследований /2, 7, 8/, проведении экспериментов /7-9/, разработке технологического оборудования /1/, анализе экспериментальных и теоретических результатов и подготовке публикаций /1, 5-12, 15-19/. Им самостоятельно разработаны способы повышения звукопоглощающих и звукоизолирующих свойств /3/, разработана технология изготовления новых шумоизолирующих материалов /4, 12, 14/. Статьи в журналах /4-6/ и тезисы /13, 14/ опубликованы единолично.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты исследований были доложены и обсуждены на научно-технических конференциях, посвященных проблемам ресурсосберегающих технологий (Гомель, 1995; Гродно, 1996, 1998), научно-технической конференции: «ПОЛИКОМ-95» (Солигорск, 1995).

Опубликованность результатов. По результатам выполненных исследований опубликовано 19 работ, в том числе 1 монография, 8 статей в научно-технических журналах. Общий объем опубликованных материалов – 222 страницы.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работ, 6 глав, заключения, списка литературы и Приложения на 97 страницах.

Содержание диссертации изложено на 133 страницах, из которых 19 стр. занимают иллюстрации, 21 стр. таблицы, 6 стр. – список использованных источников, включающий в себя 81 наименование.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена анализу литературных и патентных данных о развитии современных средств шумоизоляции. Рассмотрены схемы расчета звукоизоляции слоистых конструкций и показана целесообразность применения для расчета акустических характеристик метода «механических моделей». Выполнен сравнительный анализ традиционно применяемых в отечественном и мировом автомобилестроении звукоизоляционных материалов по акустическим, механическим и теплофизическим свойствам, химвстойкости, экономическим показателям. Показана перспективность применения многослойных конструкций, включающих функциональные слои. Однако объем выполненных к настоящему времени исследований влияния геометрических параметров и расположения слоев в пакете, их структуры и технологии соединения на звукоизолирующие и звукопоглощающие свойства материала недостаточен для развития этого направления. Рассмотрены существующие технологии изготовления звукоизоляционных материалов и показана необходимость их совершенствования применительно к многослойным конструкциям.

Во второй главе описаны объекты и методы исследований.

В качестве объектов исследований использовали листовые слоистые материалы, содержащие в разных комбинациях следующие компоненты: волокнистый холст типа «ТИМС» (ТУ 61 БССР 51-82), базальтовый картон (РСТ Украины 1951-84 изм.1), волокнистый холст (ТУ 21-0294616-8-92), эластичный пенополиуретан (ТУ РБ ОП 02-00276535-02-94), металлизированная влагонепроницаемая бумага (ТУ 5435-004-11530640-95), алюминиевая фольга (ГОСТ 618-73), полиэтиленовая пленка (ГОСТ 10354-82), углеткань «Вискум ТО-15» (ТУ 6-12-0204056-32-89), а также дисперсные минеральные частицы корунда, магнетита, сульфидов, дисперсный полиэтилен высокого давления, гранулированный полистирол.

Коэффициент звукопоглощения и показатели звукоизоляции определяли на акустическом интерферометре оригинальной конструкции, включающем приставку с точным импульсным шумомером фирмы «VEB Robotron» и октавным фильтром для измерения падения уровня шума при прохождении через образец. Испытания проводили на образцах, имеющих форму цилиндров диаметром 100 мм. Методика экспериментов соответствовала ГОСТ 16297-80. Поверхностную плотность определяли по ГОСТ 159021-80 на образцах в форме прямоугольника, площадь поверхности которого составляла 0,6 м². Испытания на прочность связи слоев в материале проводили на разрывной машине. Для испытаний материалов на маслостойкость подбирались образцы размером 50x50 мм.

Показатели горючести определяли по стандартной методике на образцах размером 60x150 мм при толщине не более 30 мм, огнеопасности – на образцах прямоугольной формы размером 360x100 мм при толщине не более 15 мм.

Устойчивость к нагреву определяли в соответствии с методикой, разработанной в ГП НИИАТМ (Москва), теплопроводность материалов – по ГОСТ 7076-87.

В третьей главе проведен расчет звукопоглощающих характеристик многослойных материалов.

Акустические свойства звукопоглощающей среды характеризуются двумя параметрами: постоянной распространения $\gamma_m = -\alpha_m + i\beta_m$, где β_m – коэффициент затухания, а α_m – волновой коэффициент и относительным акустическим сопротивлением W_m , которое является комплексной величиной $W_m = \text{Re}W_m + i\text{Im}W_m$. Характеристики γ_m и W_m существенно зависят от f – частоты звуковых колебаний, а мнимая часть акустического сопротивления всегда отрицательна ($\text{Im}W_m < 0$). Звуковое давление p и колебательная скорость v частиц в плоской звуковой волне, распространяющейся в среде, связаны соотношением $p/v = W_m \rho_0 c_0$, в котором ρ_0 – плотность воздуха, c_0 – скорость распространения звука в воздухе.

Относительный входной импеданс $W_{\text{вх}}^{(n)}$ многослойного материала, состоящего из плоскопараллельных слоев при нормальном падении на него звуковых волн выражается через относительные акустические сопротивления и входные импедансы предыдущих ($n-1$) слоев следующим образом:

$$W_{\text{вх}}^{(n)} = W_n \frac{W_{\text{вх}}^{(n-1)} + W_n \text{th} \gamma_n s_n}{W_n + W_{\text{вх}}^{(n-1)} \text{th} \gamma_n s_n} \quad (1)$$

где W_n, γ_n – акустические характеристики n -го слоя

s_n – толщина n -го слоя.

Для расчета звукоизоляции R многослойного материала использовали формулу:

$$R = 10 \cdot \lg \prod_{j=1}^n \left[\frac{\text{Re}W_j}{\text{Re}W_{j+1}} \frac{|W_{j+1}|^2}{|W_j|^2} \left| \frac{(W_{\text{вх}}^j + W_{j+1}) \exp(\gamma_j s_j)}{(W_{\text{вх}}^j + W_j)} \right|^2 \right] \quad (2)$$

Коэффициент звукопоглощения α многослойного материала рассчитывали по формуле:

$$\alpha = 1 - \left| \frac{W_{\text{вх}}^{(n)} - W_{n+1}}{W_{\text{вх}}^{(n)} + W_{n+1}} \right|^2. \quad (3)$$

Исследованы характеристики двухслойного материала, состоящего из алюминиевой фольги и звукопоглощающего слоя – нетканого полотна без связующего из супертонкого стеклянного волокна или пенополиуретана, а также четырехслойного – из алюминиевой фольги и симметричного пакета (сэндвича) из двух слоев нетканого полотна и слоя фольгированного пенополиуретана между ними.

Для определения входного импеданса слоя алюминиевой фольги использовано выражение

$$W_{\text{вх}}^{(2)} = W \frac{1 + W \operatorname{tg} \frac{2\pi f}{c} s}{W - i \operatorname{tg} \frac{2\pi f}{c} s}. \quad (4)$$

Расчеты показали, что в диапазоне частот 250-650 Гц звукопоглощение фольгированного нетканого полотна ниже, чем фольгированного пенополиуретана. Эта закономерность наблюдается во всем частотном диапазоне при разной толщине фольги для материала, закрепленного на жесткой стенке. Если звук распространяется через слой материала в воздух, то в области высоких частот, а для тонкой фольги во всем частотном диапазоне наблюдается противоположный эффект – лучшее звукопоглощение у материала с нетканым полотном, худшее – с пенополиуретаном. Четырехслойные материалы с одинаковой общей толщиной слоев имеют промежуточные значения коэффициентов звукопоглощения.

Показатели звукоизоляции у слоистых фольгированных материалов могут при одинаковой общей толщине пакета превышать аналогичные характеристики материалов со звукопоглощающим слоем из одного пенополиуретана или нетканого полотна во всем частотном диапазоне (строка 4 табл.1). Анализ показывает, что для звукоизоляционных свойств многослойных материалов характерен синергический эффект.

Установлено влияние толщины слоев, толщины фольги, величины воздушного зазора на показатели звукоизоляции и коэффициенты звукопоглощения при нормальном к поверхности пакета падении звуковой волны.

Применение расчетных методов для исследования звукоизоляционных свойств многослойных материалов ограничено из-за недостатка данных об акустических характеристиках звукопоглощающих сред, образующих отдельные слои. Определить звукоизоляционные свойства новых материалов на акустическом интерферометре теоретически возможно, а практически очень

сложно из-за недостаточной точности прибора и отсутствия отработанной методики.

Таблица 1

Показатели звукоизоляции фольгированных материалов, дБ

Алюминиевая фольга	Толщина слоя, мм			Частота f , Гц					
	Нетканое полотно	Пенополиуретан	Нетканое полотно	250	500	1000	2000	4000	8000
0,2	31	–	–	4,2	7,6	14,0	22,8	31,6	40,6
0,2	–	31	–	5,6	9,3	15,4	23,8	32,3	41,1
0,2	8	15	8	5,5	8,9	15,8	24,7	32,9	41,6
0,2	4	23	4	6,3	9,9	16,8	25,1	32,9	41,3
0,2	10	11	10	5,1	8,5	15,2	24,2	32,7	41,5

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований акустических свойств звукопоглощающих слоистых материалов. Показано, что уменьшения энергии звуковых колебаний в слоистых материалах можно достичь определенным сочетанием слоев и их ориентацией относительно источника звука. Коэффициент звукопоглощения образца, состоящего из двух волокнисто-пористых слоев одинаковой толщины, увеличивается при расположении более плотного пористого слоя базальтового картона ближе к источнику звука. Для трехслойного материала при различном расположении слоев к источнику звуковых волн поглощающая способность тем больше, чем ярче выражена рассогласованность импедансов соседних слоев конструкции. На границе раздела слоев, волокнистый холст – базальтовый картон, из-за существенной разницы их свойств значительная часть звуковых волн отражается. Прошедшие звуковые волны поглощаются в базальтовом картоне и в следующем слое волокнистого холста, а отраженные – в предыдущем слое. Таким образом, в трехслойном звукопоглощающем материале целесообразно между слоями волокнистого холста располагать более плотный промежуточный слой. Добавление еще одного слоя волокнистого холста со стороны источника распространения звуковых волн увеличивает поглощающую способность материала.

Анализируя частотные зависимости коэффициента звукопоглощения для разных конструкций, можно отметить, что расположение к источнику звука более плотных слоев материала смещает максимум звукопоглощения на $1/3$ октавы в низкочастотную область (рис.1). Размещение между двумя волокнистыми холстами базальтового картона, способствует исчезновению максимумов поглощения в диапазоне частот 500-2000 Гц. При этом зависимость $\alpha(f)$ становится менее выражена.

Полученные результаты свидетельствуют, что при формировании слоистых звукопоглощающих материалов необходимо учитывать сочетание разных по плотности слоев, а также расположение их относительно источника звука.

Изучено влияние воздушного зазора h между двумя слоями волокнисто-пористой структуры на коэффициент звукопоглощения такой системы. Установлено, что в области низких (до 200 Гц) частот коэффициент звукопоглощения не зависит от частоты, если зазор между волокнисто-пористыми слоями отсутствует. При $h \neq 0$, увеличение частоты звуковых колебаний, начиная с некоторого значения f , сопровождается резким увеличением α . С увеличением зазора точка перегиба кривой $\alpha(f)$ смещается к началу координат. Так, при $h=50$ мм интенсивный рост α начинается на частоте $f=200$ Гц, а при $h=70$ мм – на частоте 160 Гц. В диапазоне средних частот (250-800 Гц) рост воздушного зазора вызывает монотонное увеличение поглощающей способности материала. Так, с увеличением h от 10 до 70 мм коэффициент звукопоглощения на частоте 500 Гц возрастает от 0,28 до 0,88.

В высокочастотной области кривые зависимости $\alpha(f)$ имеют максимумы (рис. 2). С увеличением толщины воздушного зазора максимум α смещается в сторону более низких частот. При толщине воздушного зазора 20 мм α достигает максимального значения при $f=1600$ Гц, а при $h=70$ мм точка максимума α соответствует частоте 630 Гц. Сочетание волокнисто-пористых слоев и воздушного зазора позволяет смещать область большего поглощения в сторону низких частот и, таким образом, регулировать характеристики зву-

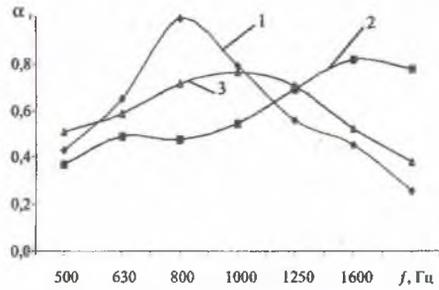


Рис. 1. Частотные зависимости коэффициента звукопоглощения при различном расположении слоев к источнику звука (1 – б-в-в; 2 – в-в-б; 3 – в-б-в; б-базальтовый картон, в-волокнистый холст)

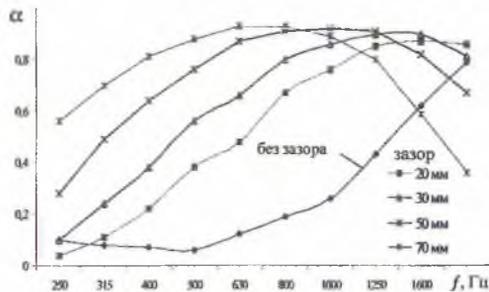


Рис. 2. Влияние воздушного зазора между слоями нетканого полотна на коэффициент звукопоглощения

копоглощения конструкции.

Показана возможность управления акустическими свойствами материалов путем использования в качестве звукоизолирующего слоя текстильного полотна с нанесенными на него дисперсными частицами, образующими шероховатый слой.

Установлено, что твердые минеральные частицы – корунд в смеси с магнетитом и сульфидами – не только способствуют увеличению коэффициента звукопоглощения слоистого материала, но и смещают его максимум в область более низких частот. Звуковые волны, падая на твердые частицы, образующие шероховатый слой с различными к направлению распространения звука углами наклона неровностей, рассеиваются. Изменяя расположение шероховатого звукоизолирующего слоя в пакете и его ориентацию относительно источника звука, можно регулировать положение максимума звукопоглощения слоистого материала по частоте. Так, если вводится внешний фронтальный слой, максимум поглощения находится на частоте 800 Гц, при расположении его внутри пакета между слоями нетканого полотна максимум уменьшается и сдвигается к частоте 1000 Гц (рис. 3).

Замена твердых частиц на мягкие, частично кристаллические, например полиэтиленовые размером 0,1-1 мм, позволила увеличить звукопоглощение слоистого материала в диапазоне частот 160-800 Гц. При отсутствии частиц на подложке максимум α наблюдается на частоте 1250 Гц. С частицами на звукоизолирующем слое он сдвигается на 2/3 октавной полосы в область более низких частот. Следует отметить, что коэффициент звукопоглощения материалов, содержащих шероховатый слой с полиэтиленовыми частицами, в диапазоне частот 125-2000 Гц не зависит от расположения частиц относительно источника звука.

Исследован материал с шероховатым слоем из модифицированного аморфного полистирола: частицы имели форму цилиндра, высотой 3 мм и диаметром 2 мм. Показано, что в диапазоне частот 125-500 Гц коэффициент звукопоглощения материала увеличивается независимо от

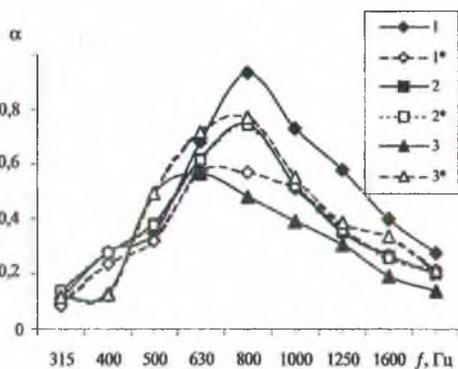


Рис. 3. Влияние природы частиц шероховатого слоя и их ориентации на звукопоглощение (1,1* – минеральные частицы, 2,2* – полиэтиленовые, 3,3* – полистирольные; — частицы на поверхности, - - - внутри)

расположения частиц по отношению к источнику звука. На частотах 600-2000 Гц наблюдается следующая закономерность: если шероховатый слой повернут частицами внутрь образца, то α больше, чем при расположении их по направлению к источнику звука.

Изучено влияние геометрических параметров перфорации звукоизолирующего слоя на акустические характеристики материала в диапазоне частот 125-2000 Гц. Определены оптимальные значения диаметра и шага перфорации отверстий, при которых достигается максимальное значение α . Установлено, что перфорация звукоизолирующего слоя способствует увеличению коэффициента звукопоглощения в том случае, когда используется звукопоглощающий пакет с подслоем пористо-губчатой структуры. Показано, что перфорация отверстий диаметром 0,5-1 мм и шагом 5-15 мм увеличивает коэффициент звукопоглощения независимо от расположения слоев к источнику звуковых волн.

Для пористо-волокнутой структуры существуют области толщин, в которых наблюдается как уменьшение, так и увеличение звукопоглощающей способности материалов. При толщине образцов 10-17 мм и 28-35 мм перфорация увеличивает коэффициент звукопоглощения материалов, при толщине 17-28 мм снижает.

В пятой главе представлена технология изготовления слоистых звукоизоляционных материалов.

Предложен технологический способ изготовления звукопоглощающего материала с воздушным зазором. Звукопоглощающий материал формировали из двух листов иглопробивного полотна. Для фиксации зазора между холстами приклеивали отходы вырубки эластичного пенополиуретана (площадь одной ячейки не более $0,02 \text{ м}^2$, толщина перегородок между ячейками не менее 20 мм) или пенополиуретановые планки сечением не более 30x50 мм, расположенные на расстоянии 100-150 мм друг от друга. Внутри материала образовывались воздушные пространства, способствующие рассеянию энергии звуковых волн.

Одним из важнейших факторов при формировании материала с промежуточным воздушным слоем является адгезионная прочность соединения эластичного пенополиуретана и нетканого полотна. На основании результатов исследования влияния толщины воздушного зазора на α был предложен технологический метод управления акустическими свойствами многослойного материала, сущность которого сводится к тому, что адгезионное соединение слоев осуществляется не по всей поверхности, а на дискретных участках. Установлено, что зависимость α от размера и плотности адгезионных соединений немонотонна и обусловлена конкурирующим влиянием рассеяния звука на адгезионных соединениях и воздушных объемах между этими соединениями. Максимум звукопоглощения достигается при

условии, что средний размер адгезионных площадок соответствует 5 мм, а их площадь по отношению к номинальной – 25 %.

Экспериментально установлено влияние геометрических параметров топографии поверхности внешних декоративных и звукоизолирующих слоев на звукопоглощающую способность слоистых материалов. Показано, что технологическая операция рифления наружного звукоизолирующего слоя увеличивает α на 15 %.

Для защиты от шума конструкций автомобилей с высокой температурой нагрева при эксплуатации разработан теплошумоизоляционный материал, состоящий из нетканого полотна на основе смеси синтетических волокон и термостойкой подложки, выполненной из металлизированной влагожиростойкой бумаги и базальтового картона. Для более прочного соединения листы базальтового картона подвергаются перфорации. Адгезив, заполняя перфорированные отверстия картона, связывает две клеящие прослойки, к которым крепятся последующие слои. Температура эксплуатации материала – от -70 до +300 °С.

Исследованы деформации сжатия в процессе соединения слоев материала иглопробиванием, когда в качестве промежуточного слоя используется смесь пенополиуретановых частиц и синтетических волокон. Дополнительное сжатие частиц осуществлялось путем нагревания слоистого материала до температуры перехода синтетического волокна в вынужденно-эластичное состояние.

Показано, что неоднородное поле деформации сжатия можно создавать в пространстве между слоями нетканого полотна, путем экструдирования расплава полимерной массы. Разработан технологический процесс соединения слоев материала с применением полиэтиленовой пленки. Сущность первого варианта этой технологии в том, что между слоями помещают полиэтиленовую пленку и прокатывают пакет между нагретыми до 230 – 250 °С вальцами. По второму варианту адгезионное соединение звукопоглощающих слоев и подложки осуществляли путем экструзии расплава полиэтилена в пространство между сходящимися слоями. При этом волокна нетканого полотна, внедряясь в расплавленную массу полиэтилена, при ее остывании закрепляются в поверхностном слое. Показано, что применение такой технологии соединения слоев позволяет получить материал с более высоким коэффициентом звукопоглощения, чем при склеивании слоев жидким адгезивом. Проникновение адгезива в волокнистый холст приводит к нарушению пористой структуры, а следовательно, и к уменьшению звукопоглощения.

Цех для серийного выпуска разработанных материалов организован на ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» (рис.4). На оборудование разработан и утвержден комплект



Рис. 4. Производство теплозвукоизоляционного материала для моторного отсека транспортных средств

конструкторской документации, на материалы разработаны и утверждены технические условия и технологическая документация.

В шестой главе приведены технико-экономические показатели и данные об использовании в автомобильной промышленности разработанных звукоизоляционных материалов. Материалы типа «ИЗОМАТ», предназначенные для зву-

коизоляции моторных отсеков автобусов, формируются из звукопоглощающих слоев нетканого полотна, пенополиуретана и подложек из углеродной ткани и алюминиевой фольги, обеспечивающих термостойкость. Звукопоглощающий пакет материала «ИЗОМАТ-1ППФ» включает по одному слою иглопробивного полотна и пенополиуретана, «ИЗОМАТ-2ППФ» – два слоя иглопробивного полотна и слой пенополиуретана удвоенной толщины. Все слои соединены адгезивом, а слой пенополиуретана расположен между слоями иглопробивного полотна. Звукопоглощающий пакет материалов этого типа включает слой из углеродной ткани со стороны источника звука, а с внешней - алюминиевую фольгу.

Для звукоизоляции салонов автомобилей используются материалы типа «СИПР». Они не содержат слоя пенополиуретана, а соединение слоев производится термосклеиванием полиэтиленовой пленкой. В материале «СИПР-2С» вместо алюминиевой фольги применяется стеклоткань.

Выпускаемые материалы поставляются Минскому автомобильному заводу для теплошумоизоляции моторных отсеков и салонов городских автобусов МАЗ-103, МАЗ-104, МАЗ-105 и междугородного – МАЗ-152, используются для теплозвукоизоляции моторного отсека кабин на Минском заводе колесных тягачей и в ПО «АМКОДОР», применяются фирмой «ТУРТРАНС» для теплошумоизоляции прицепа-фургона «Кулава-81327Г» и автобусов различных марок на Опытном заводе «Неман». Объем и результаты внедрения теплозвукоизоляционных материалов на автотранспортных предприятиях Беларуси приведены в табл. 2.

Проведенные эксплуатационные испытания показали, что комплексное использование акустических материалов и вибропоглощающих элементов позволяет снизить уровень шума до санитарно-гигиенических норм: с 98 до 76 дБ в кабине водителя и со 102 до 78 дБ в салоне автобуса. При тепло-

звукоизоляции моторного отсека кабин тягачей удалось уменьшить шум в кабине с 81 до 70,5 дБ.

Таблица 2

Применение разработанных материалов на автотранспортных предприятиях Беларуси

Предприятие	Транспортное средство	Место установки звукоизоляции	Материал	Годовой объем поставок	Экон. эффект, млн. руб
«Уникаб» ПО «АМКОДОР»	Дорожные машины	Моторный отсек кабины	СИПР-2Ф	434,9 м ²	2,06
Опытный завод «Неман», г. Лида	Автобусы	Салон автобуса,	СИПР-1УФ	330,8 м ²	4,5
		Моторный отсек	ИЗОМАТ-2ППФ	199,9 м ²	3,4
«Туртранс»	Прицеп-фургон «Купава»	Салон	СИПР-2С	434,9 м ²	3,8
МЗКТ	Тягачи МЗКТ	Моторный отсек	ИЗОМАТ-2ППФ	11,5 м ²	33,3
		Кабина тягачей	ИЗОМАТ-1ППФ	996 шт	
АМАЗ ГП МАЗ	Автобусы МАЗ-103 МАЗ-104 МАЗ-105 МАЗ-152	Моторный отсек	ИЗОМАТ-2ППФ	2125,3 м ²	36,6
		Салон автобуса	СИПР-1УФ	3685,4 м ²	49,2

В настоящее время с использованием результатов диссертации проводятся работы по созданию листовых материалов с повышенной теплоустойкостью. Поданы две патентные заявки на огнестойкие и относительно дешевые многослойные звукоизоляционные материалы с высокими акустическими характеристиками, хорошими показателями защиты от влаги и грязи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении диссертационной работы проведены теоретические и экспериментальные исследования влияния состава, параметров структуры и режимов формирования на акустические свойства звукоизоляционных материалов с функциональными слоями и получены следующие результаты.

1. Расчеты акустических характеристик фольгированных слоистых материалов по законам прохождения через них звуковых волн показали: наилучшую звукоизоляцию могут обеспечить симметричные сэндвичи из двух слоев нетканого полотна и слоя пенополиуретана между ними. Для звукоизоляции материалов с толщиной фольги до 0,2 мм синергический эффект выявлен во всем частотном диапазоне, с более толстым слоем

алюминия – только начиная с частоты 1000 Гц. Для коэффициентов звукопоглощения аналогичные эффекты не проявляются /9/.

2. Экспериментально установлено, что уменьшению энергии звуковых колебаний в слоистых материалах способствует определенное сочетание слоев и их расположение относительно источника звука. Для материалов, состоящих из двух волокнисто-пористых слоев одинаковой толщины, коэффициент звукопоглощения увеличивается при расположении более плотных пористых слоев ближе к источнику звука. Для трехслойного материала при различном расположении слоев относительно источника звуковых волн, поглощающая способность тем больше, чем значительнее выражена рассогласованность импедансов последовательных слоев конструкции /7/.

3. Сочетание волокнисто-пористых слоев и воздушного зазора позволяет смещать область большего поглощения в сторону низких частот и таким образом регулировать характеристики звукопоглощения конструкции. При величине воздушного зазора между двумя слоями пористо-волокнистой структуры 60-70 мм наблюдается увеличение звукопоглощения, начиная с частоты 160 Гц, а при 40-50 мм – с 200 Гц. С увеличением воздушного зазора от 20 до 70 мм коэффициент звукопоглощения на частоте 500 Гц возрастает от 0,38 до 0,88, а его высокочастотный максимум смещается с частоты 1600 Гц к частоте 630 Гц /5, 9/.

4. Разработана конструкция и предложен технологический процесс создания слоистого материала с воздушным зазором. Для фиксации зазора между двумя листами иглопробивного холста используются отходы вырубки эластичного пенополиуретана, образующие внутри материала воздушные объемы. Показано, что дискретное расположение адгезионных соединений увеличивает коэффициент звукопоглощения пористой конструкции /9/.

5. Показано, что путем введения и изменения расположения в пакете слоистого материала шероховатого звукоизолирующего слоя из минеральных или полимерных частиц на тонкой подложке и его расположения относительно источника звука, можно регулировать положение максимума звукопоглощения по частоте. Установлено, что для увеличения коэффициента звукопоглощения наиболее эффективно использование шероховатого слоя с твердыми минеральными частицами – корунд (50-60%) в смеси с магнезитом и сульфидами /13,15,16/.

6. Установлено, что перфорация внешнего звукоизолирующего слоя способствует увеличению коэффициента звукопоглощения, если поглощающий слой содержит подслои пористо-губчатой структуры. Показано, что перфорация отверстий диаметром 0,5-1 мм и шагом 5-15 мм увеличивает коэффициент звукопоглощения независимо от расположения слоев к источнику звуковых волн /8/.

7. Разработан комплекс новых теплошумоизоляционных материалов для автомобильной промышленности. Технология получения и материалы защи-

щены патентами Республики Беларусь. Организовано серийное производство разработанных материалов и их внедрение на автотранспортных предприятиях Беларуси с экономическим эффектом 132,86 млн. рублей за 1999-2000гг. /1-4, 6, 10, 12, 14, 17-20/.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Адинцова З.Н., Прушак В.Я., Протасеня А.В. Волокнистые шумоизолирующие материалы.– Гомель: Информтрибо, 1996.– 187 с.
2. Адинцова З.Н., Сысоев П.В., Прушак В.Я., Протасеня А.В. Влияние неоднородностей различной природы на коэффициент звукопоглощения // Весці НАН Б. Сер. фіз.–тэхн. навук. – 1996. – № 1. – С.33-35.
3. Сысоев П.В., Адинцова З.Н., Прушак В.Я., Протасеня А.В. Повышение шумоизолирующих свойств слоистых материалов созданием неоднородного поля деформации сжатия // Материалы, технологии, инструменты. – 1996– № 1. – С.42–45.
4. Протасеня А.В. Теплозвукоизоляционный материал для изоляции моторных отсеков транспортных и дорожных машин // Весці НАНБ. Сер. фіз.–тэхн. навук. – 1996. – № 3. – С.52-56.
5. Протасеня А.В. Синтетические волокна для изготовления нетканых шумоизолирующих материалов // Материалы, технологии, инструменты. – 1996. – № 3. – С.40–43.
6. Протасеня А.В. Огнестойкость нетканых теплозвукоизоляционных материалов и способы ее увеличения // Весці НАНБ. Сер. фіз.–тэхн. навук. – 1997. – № 3. – С.18-21.
7. Протасеня А.В., Захаренко З.Н., Савастенко В.А. Исследование снижения уровня звуковых колебаний в слоистых материалах, применяемых для горношахтного оборудования // Горная механика.– 1998.– №1.– С.19–24.
8. Протасеня А.В., Захаренко З.Н. Влияние геометрических параметров перфорации на коэффициент звукопоглощения слоистого материала// Горная механика.– 1999.– №1.– С.46–48.
9. Протасеня А.В., Захаренко З.Н., Кушунина Н.А. Изучение влияния толщины воздушного зазора на коэффициент звукопоглощения материала пористой структуры // Горная механика. – 1999. –№3-4. –С. 56-60.
10. Протасеня А.В., Сысоев П.В., Свиридов Н.В., Конопляник А.И., Кондратеня А.А. Многослойный теплозвукоизоляционный материал // ПОЛИКОМ –95: Тез. докл. межд. науч.–техн. конф. – Солигорск, 1995. – С. 68.
11. Сысоев П.В., Богданович П.Н., Адинцова З.Н., Прушак В.Я., Протасеня А.В. Создание шумоизолирующих материалов для снижения уровня шума на промышленных предприятиях Беларуси // Ресурсо – и энергосбере-

гающие технологии на транспорте и в строительном комплексе: Тез. докл. науч.- практ. конф. – Гомель, 1995.– С. 173-174.

12. Сысоев П.В., Богданович П.Н., Адинцова З.Н., Прушак В.Я., Доланговский В.А., Протасеня А.В. Проблема снижения уровня шума на транспорте и методы ее решения средствами акустического материаловедения // Ресурсо- и энергосберегающие технологии на транспорте и в строительном комплексе: Тез. докл. науч.- практ. конф. – Гомель, 1995.– С. 183-184.

13. Протасеня А.В. Влияние поля деформации сжатия пенополиуретана на коэффициент звукопоглощения // Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии: Тез. докл. науч. конф. – Гродно, 1996.– С. 226.

14. Богданович П.Н., Захаренко З.Н., Протасеня А.В. Влияние топографии звукоизолирующего слоя на коэффициент звукопоглощения полифункциональных материалов // Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии: Тез. докл. науч. конф. – Гродно, 1998.– С.219–220.

15. Богданович П.Н., Захаренко З.Н., Протасеня А.В. Влияние макро-структуры и геометрических параметров частиц различной природы на коэффициент звукопоглощения слоистых материалов // Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии: Тез. докл. науч. конф. – Гродно, 1999.– Ч.2.– С.115–121.

16. Пат. 1472 РБ, С1 МПК В32В 5/06, В32В 5/22, Е04В 1/82. Много-слойный звукоизоляционный материал (его варианты) / Прушак В.Я., Щерба В.Я., Заяц И.М., Протасеня А.В.– № 2090; Заявл. 04.08.1994; Опубл. 16.12.1996 //Афіцыйны бюлетэнь/ Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь.– 1996. – №4. –Ч.1.– С.140.

17. Пат. 1480 РБ, С1 МПК В32В 5/06, Е04В1/82. Многослойный звуко-изоляционный материал / Прушак В.Я., Щерба В.Я., Заяц И.М., Протасеня А.В.– № 2078; Заявл. 25.07.1994; Опубл. 16.12.1996 //Афіцыйны бюлетэнь/ Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь.– 1996. – №4. –Ч.1.– С.140–141.

18. Пат. 1672 РБ, С1 МПК В32В 13/00, В32В 13/02, В32В 13/04, С04И 28/00. Многослойная облицовочная плита / Прушак В.Я., Щерба В.Я., Протасеня А.В., Заяц И.М.– № 666; Заявл. 06.10.1993; Опубл. 30.03.1997 // Афіцыйны бюлетэнь/ Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь.– 1997. – №1. – С.121.

19. Пат. 2070 РБ, С1 МПК В32В 5/06, Е04В 1/84. Слоистое звуко-изоляционное покрытие / Сысоев П.В., Богданович П.Н., Прушак В.Я., Адин-цова З.Н., Протасеня А.В. – № 950864; Заявл. 27.09.1995; Опубл. 30.03.1998 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 1998. – № 1. – С. 104–105.



РЭЗЮМЕ

ПРАТАСЕНЯ Аляксандр Уладзіміравіч

КАМАЗІЦЫЙНЫЯ ГУКАІЗАЛЯЦЫЙНЫЯ МАТЭРЫЯЛЫ
З ФУНКЦЫЯНАЛЬНЫМІ СЛАЯМІ І ТЭХНАЛОГІЯ ІХ ВЫРАБУ

Ключавыя словы: акустычныя характарыстыкі, гукаізаляцыя, каэфіцыент гукапаглынання, частата гукавых ваганняў, адгезіўныя злучэнні, зніжэнне шуму, тэрмастойкасць, пылавільгацеахова.

Аб'ект даследавання: шматслойныя ліставыя акустычныя матэрыялы, нятканае палатно з сінтэтычных валокнаў, эластычны пенаполіурэтан, алюмініевая фольга, шклотканіна, базальтавы кардон, вуглетканіна, поліэтыленавая плёнка.

Мэта работы: распрацоўка шматслойных шумаізаляцыйных матэрыялаў для транспартных сродкаў і тэхналогіі іх вырабу.

Метадыка даследавання: для тэарэтычных разлікаў – законы распаўсюджвання акустычных хваляў у слаістых асяроддзях з затуханнем; прыборы фірмы «Брюль и Кьер» (Данія) і акустычны інтэрферометр арыгінальнай канструкцыі; шумамер фірмы «VEB Robotron» з актаўным фільтрам; ушлы тэхналогіі злучэння слаёў на акустычныя ўласцівасці вывучаўся па ацэнках характарыстык гатовага матэрыялу.

Шляхам разлікаў вывучаны заканамернасці праходжання гукавых хваляў праз фольгіраваныя слаістыя злучэнні, складзеныя з нетканага палатна і эластычнага пенаполіурэтану, якія дазволілі вызначыць аптымальную з пункту гледжання стабільнасці акустычных характарыстык на ўсім частотным дыяпазоне структуру слаістага матэрыялу і выявіць сінергічны эффект гукаізаляцыйных уласцівасцей.

Тэарэтычна і эксперыментальна даследаваны ўшлы размяшчэння і тэхналогіі злучэння гукапаглынальных слаёў рознай шчыльнасці і структуры ў працэсе вытворчасці шматслойнага гукапаглынальнага матэрыялу на акустычныя характарыстыкі ўсяго пакета. Распрацаваны арыгінальныя тэхналогіі злучэння слаёў з прымяненнем поліэтыленавай плёнка, а таксама тэхналогія стварэння матэрыялу з паветраным зазорам. Даследаваны метады і распрацавана тэхналогія мадыфікавання верхняга ахоўнага або дэкаратыўнага слою гукаізаляючага матэрыялу перфараванай або нанясеннем на яго дысперсных часцінак. Распрацаваны новыя целашумаізаляцыйныя матэрыялы для аўтамабільнай прамысловасці. Арганізаваны серыйная вытворчасць распрацаваных матэрыялаў і ўкараненне іх на аўтатранспартных прадпрыемствах Беларусі.

ПРОТАСЕНЯ Александр Владимирович

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СЛОЯМИ И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Ключевые слова: акустические характеристики, звукоизоляция, коэффициент звукопоглощения, частота звуковых колебаний, адгезивные соединения, снижение шума, термостойкость, пылевлагозащита.

Объект исследования: многослойные листовые акустические материалы, нетканое полотно из синтетических волокон, эластичный пенополиуретан, алюминиевая фольга, стеклоткань, базальтовый картон, углеткань, полиэтиленовая пленка.

Цель работы: разработка многослойных шумоизоляционных материалов для транспортных средств и технологии их изготовления.

Методы исследования и аппаратура: для теоретических расчетов – законы распространения акустических волн в слоистых средах с затуханием; приборы фирмы "Брюль и Кьер" (Дания) и акустический интерферометр оригинальной конструкции; шумомер фирмы "VEB Robotron" с октавным фильтром; влияние технологии соединения слоев на акустические свойства изучалось по оценкам характеристик готового материала.

Расчетным путем изучены закономерности прохождения звуковых волн через фольгированные слоистые сэндвичи, состоящие из нетканого полотна и эластичного пенополиуретана, позволившие определить оптимальную с точки зрения стабильности акустических характеристик во всем частотном диапазоне структуру слоистого материала и выявить синергический эффект звукоизоляционных свойств.

Теоретически и экспериментально исследовано влияние расположения и технологии соединения звукопоглощающих слоев различной плотности и структуры в процессе производства многослойного звукопоглощающего материала на акустические характеристики всего пакета. Разработаны оригинальные технологии соединения слоев с применением полиэтиленовой пленки, а также технология создания материала с воздушным зазором. Исследованы методы и разработана технология модифицирования верхнего защитного или декоративного слоя звукоизолирующего материала перфорацией или нанесением на него дисперсных частиц. Разработаны новые теплошумоизоляционные материалы для автомобильной промышленности. Организовано серийное производство разработанных материалов и их внедрение на автотранспортных предприятиях Беларуси.

PROTASENYA Alexander Vladimirovich

SOUNDPROOF COMPOSITE MATERIALS WITH FUNCTIONAL LAYERS AND THEIR PRODUCTION TECHNIQUE

Key-words: acoustic characteristics, soundproofing, acoustical absorptivity, sound oscillation frequency, adhesive joints, noise suppression, thermal stability, dust-and-moisture proofing.

Object of investigation: multi-layer sheep acoustic materials, nonwoven cloth of synthetic fibers, elastic foam polyurethane, aluminum foil, glass fabric, basalt cardboard, carbon fabric, polyethylene film.

Aim of the work: is the development of multi-layer soundproofing materials for vehicles and their production technique.

Methods of investigation: and equipment: for theoretical calculations the laws of acoustic waves propagation in layered media with attenuation have been employed. Instruments of Brull & Kier (Denmark) company, acoustic interferometer of original design and noise meter of VEB Robotron Co. with octave filter have been used. The effect of layer bonding technique on acoustic properties have been studied by the estimates of the ready material.

Regularities of sound wave passage through the foiled layered sandwiches which include a nonmoven cloth and elastic foam polyurethane have been calculated. The results of calculations have made it possible to determine the optimum structure of the layered material from the viewpoint of stability of acoustic characteristics in the whole frequency range and to identify synergetic effect of soundproofing properties.

The effect of disposition and the method of bonding soundproofing layers of various density and structure on acoustic characteristic of the whole pack during production has been studied theoretically and experimentally. Original technologies of layer bonding using polyethylene film and manufacturing materials with an air gap have been elaborated. The technology of modifying the upper protecting or decorative layer of the soundproofing material by perforating or applying dispersed particles has been developed. Novel heat and soundproofing materials for automobile industry have been worked out. Batch production of developed materials and their assimilation at automobile enterprises in Belarus have been organized.

ПРОТАСЕНЯ Александр Владимирович

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СЛОЯМИ И ТЕХНОЛОГИЯ
ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

Подписано в печать 04.02.2002 г.

Формат 60x84¹/₁₆. Бумага «Снегурочка», А4, 80 г/м². Гарнитура Таймс
Отпечатано на ризографе CR-1610. Усл. печ. л. 3,91. Тираж 100 экз. Заказ 43.
ЛП №403 от 15.06.2000.

ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным
производством»

ул. Козлова, 69, г. Солигорск, 223710, Республика Беларусь.

Т. 5-47-82, 4-10-58

ipr@slgipr.belpak.minsk.by