

УДК 691:699.844

*Е.М. Шульдешов¹, И.Д. Краев¹, М.М. Платонов²***ПОЛИМЕРНАЯ КОМПОЗИЦИОННАЯ
ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩАЯ ПАНЕЛЬ**

DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-5-7-7

Статья посвящена вопросам снижения негативного шумового воздействия на человека в пределах городской территории и промышленных помещений. Для решения описанной проблемы предложена композиционная декоративная звукопоглощающая панель для применения в составе транспортных шумозащитных экранов и в промышленных помещениях. Описан состав панели, представляющей собой слой волокнистого материала, расположенного внутри слоя ячеистой структуры, что позволяет сочетать высокие акустические характеристики, свойственные волокнистым материалам, при значительном улучшении эксплуатационных характеристик волокнистых материалов.

Ключевые слова: звукопоглощающая панель, звукопоглощающий материал, коэффициент звукопоглощения, влагопоглощение.

Article is devoted to questions of decrease in negative noise impact on the person on urban area and industrial rooms. For the solution of the described problem the composition decorative sound absorbing panel, for application as a part of transport shumozashchitny screens and in industrial rooms is offered. The structure of the panel representing layer of fibrous material, located in layer of cellular structure that allows to combine the high acoustic characteristics inherent to fibrous materials, at considerable improvement of rather fibrous materials of utilization properties is described.

Keywords: sound absorbing panel, sound-proof material, factor of sound absorption, moisture absorption.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

²Общество с ограниченной ответственностью «Химпродукт» [Limited Liability Company «Himprodukt»]; e-mail: plmm@chemprodukt.ru

Введение

Разработка новых материалов является одной из ключевых проблем развития гражданских секторов экономики [1, 2], без решения которой невозможна реализация передовых идей и концепций не только в настоящее время, но и в среднесрочной перспективе [3]. В последние годы все большее место в вопросе разработки новых материалов занимают композиционные материалы [4, 5], методы оценки их характеристик [6, 7], а также различных процессов, возможных при эксплуатации [8, 9].

Развитие новых акустических полимерных материалов [10] позволяет снизить негативное воздействие повышенного шума [11] и вибрации [12] на человека.

Повышенный уровень шума является наиболее острой проблемой для городских территорий. В 2011 г. Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы подготовил доклад «Шумовое загрязнение в 2010 г.». По мнению экспертов, до 70% территории города подвержены сверхнормативному шуму от разных источников. По данным официальных органов, в РФ более 35 млн человек проживает в условиях акустического дискомфорта. Повышенный уровень шума приводит к

снижению производительности труда, а также к увеличению риска появления заболеваний сердечно-сосудистой системы. Например, уличный шум приводит к преждевременной смерти от сердечных приступов ~50 тыс. человек в 25 странах ЕС ежегодно.

Основными источниками шумового воздействия на территории города являются автотранспорт, железнодорожный транспорт и наземные линии метро, авиатранспорт, строительная техника, промышленные предприятия и площадки, инженерное оборудование зданий (в том числе вентиляционные системы), шумы бытового происхождения на территориях внутри кварталов жилых домов. Наиболее распространенным из описанных источников являются автомобильные дороги и автострады. На автомобильных дорогах в период наиболее интенсивного движения транспорта уровень шума зачастую почти в 2 раза превышает допустимый. Устранить источник шума невозможно, но поглотить и снизить воздействие шума, довести его до безопасного или даже до незначительного уровня вполне реально.

Работа выполнена в рамках реализации стратегического научного направления 15.3. «Материалы и покрытия для защиты от ЭМИ, ударных, вибрационных, акустических и электрических воздействий» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [3].

Материалы и методы

Наиболее универсальными и широко применимыми, в том числе и в строительстве, являются пористые звукопоглощающие материалы (ЗПМ). Они представляют собой твердые вещества с большим количеством пор и каналов. Наличие открытой пористости позволяет звуковой волне проникать в материал и, проходя внутри образца, терять свою энергию на внутренних стенках. Поглощение, вызываемое вязкостью среды, происходит в результате наличия градиента скоростей частиц воздуха вблизи стенок материала. Силы вязкости, вызывающие поглощение звуковой волны, пропорциональны градиенту скорости, а их мощность, которая определяет поглощенную в единицу времени энергию, пропорциональна еще и скорости деформации частиц, которая также пропорциональна градиенту скорости. При низких частотах основной вклад в поглощение вносит вязкое поглощение на стенках. Однако с ростом частоты вклад вязких потерь в среде, пропорциональный волновому числу, растет. Потери от теплопроводности сопоставимы с потерями от вязкости среды.

Среди пористых ЗПМ можно выделить три основные группы: зернистые, волокнистые и ячеистые.

Волокнистые материалы представлены группами волокон, расположенных в продольном, поперечном и вертикальном направлении (например, базальтовая или минеральная вата). Зернистые материалы, как правило, представляют собой кубическую и гексагональную укладку шарообразного заполнителя (например, материалы на основе перлита, вермикулита, гранул вспененного стекла). Ячеистая структура материала представляет собой поры чаще всего сферической формы, разделенные межпоровыми перегородками (открыто- и закрытопористые пенопласты, ячеистый бетон и т. д.). Во всех перечисленных видах материалов звукопоглощающие свойства, прежде всего, зависят от вида пор на поверхности материала и характера пористости внутри.

Волокнистые материалы, как правило, обладают высокими и стабильными в широком диапазоне частот акустическими характеристиками, небольшой массой и низкой стоимостью. К недостаткам таких материалов можно отнести низкие эксплуатационные свойства, такие как стойкость к воздействию влаги и пыли, сваливание материала, а также выделение в атмосферу частиц материала, что делает невозможным использование подобных материалов в помещениях без защитных материалов, как правило представляющих собой чехлы из тканей различной природы.

Ячеистые материалы обладают менее стабильными, но при этом высокими акустическими характеристиками и значительно лучшими эксплуатационными свойствами, однако стоят, как правило, дороже волокнистых аналогов, что ограничивает их применение в строительной и промышленных сферах, например в конструкциях акустических экранов, где применяются в основном волокнистые материалы в виде матов, расположенных между обшивками экрана либо на одной из его сторон.

Зернистые материалы, как правило, представляют собой кубическую и гексагональную укладку шарообразного заполнителя (например, материалы на основе перлита, вермикулита, гранул вспененного стекла). Материалы, как правило, отличаются наименее равномерным характером поглощения в широком частотном диапазоне, однако для данного типа материалов возможно создание жестких негорючих звукопоглощающих материалов с низкой стоимостью, что позволяет решать ряд специфических задач.

Звукопоглощающие материалы в случае применения в помещении должны обладать набором функциональных и эксплуатационных свойств:

- обладать коэффициентом формы, позволяющим создавать изогнутые (криволинейные) поверхности звукопоглощающей облицовки;
- обеспечить выполнение противопожарных требований – быть негорючими и не способствовать распространению огня;
- быть термо- и влагостойкими, сохранять свои звукопоглощающие свойства в течение всего периода эксплуатации;
- допускать возможность очистки, в том числе и влажным способом;
- не выделять в воздух помещения никаких химических веществ и не оказывать вредного воздействия, опасного для здоровья людей, в том числе и возможных осколков, волокон или «корольков»;
- обеспечивать легкость монтажа и возможность, в случае необходимости, замены отдельных поврежденных элементов облицовки [13].

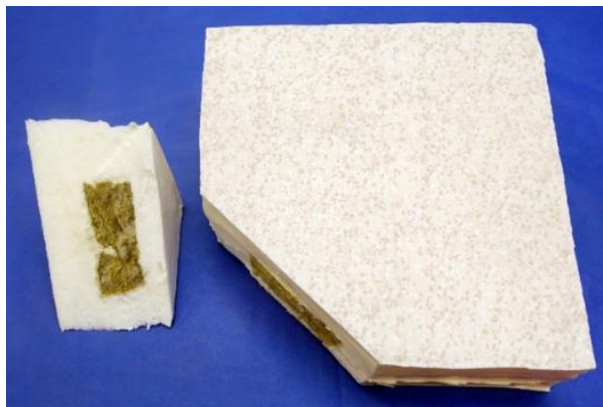
Для применения звукопоглощающих материалов в составе акустических экранов, расположенных вдоль транспортных путей [14, 15], необходимо выполнение следующих требований:

- звукопоглощающий материал должен обладать стабильными физико-механическими и акустическими свойствами в течение всего периода эксплуатации и быть биостойким;
- панели, в состав которых входит звукопоглощающий материал, должны обладать коэффициентом звукопоглощения не ниже приведенных значений:

Среднегеометрическое значение частоты, Гц	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Контрольный коэффициент звукопоглощения	0,3	0,5	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5

Таким образом, становится очевидно, что применение материала одного из описанных типов зачастую может быть недостаточно для обеспечения всех описанных характеристик либо стоимость материала будет выше стоимости аналогов, что делает материал неконкурентоспособным. Существующие в настоящее время варианты применения волокнистых материалов с чехлами не позволяют выполнить ряд требований, указанных ранее, например по сохранению стабильных физико-механических и акустических свойств в течение всего периода эксплуатации. В связи с этим предложена концепция размещения волокнистого материала внутри чехла из ячеистого воздухопроницаемого материала, обладающего высокими эксплуатационными характеристиками, а также с коэффициентом формы, позволяющим создавать изогнутые поверхности с помощью звукопоглощающей облицовки.

Во ФГУП «ВИАМ» разработана полимерная композиционная звукопоглощающая панель марки ВТИ-26, изготовленная из пенополиуретана, с расположенным внутри слоем базальтовой ваты (см. рисунок). Волокнистый материал размещается внутри ячеистого материала при вспенивании последнего, что позволяет исключить необходимость в применении клеевых слоев для закрепления материала, снизить стоимость и массу. Это не приводит к образованию жесткого слоя внутри материала, ухудшающего акустические характеристики.



Звукопоглощающая панель марки ВТИ-26

Панель предназначена для эксплуатации при температурах от -60 до $+80^{\circ}\text{C}$, что позволяет использовать ее во всех климатических зонах. Панель является трудносгорающей, что расширяет спектр объектов, в которых возможно безопасное для человека использование.

Исследование акустических характеристик звукопоглощающего материала марки ВЗМК-1 проводили на измерительном комплексе Pulse Material Testing фирмы Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S (В&К) двухмикрофонным методом (метод передаточной функции) при уровне шума до 120 дБ в диапазоне частот от 50 до 6400 Гц, соответствующим европейскому стандарту ISO 10534-2 «Acoustics – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes – Transfer-function method» («Определение коэффициента звукопоглощения и импеданса в импедансных трубах. Метод передаточной функции») и американскому стандарту ASTM E1050 «Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using A Tube, Two Microphones and A Digital Frequency Analysis System» («Метод измерения импеданса и поглощения материалов с помощью трубы, двух микрофонов и цифровой системы частотного анализа»).

На указанном комплексе двухмикрофонным методом определяли коэффициент звукопоглощения в интерференционной трубе на образцах дискообразной формы, размещенных в трубе. Четырехмикрофонным методом определяли коэффициент звукоизоляции образца.

Результаты

Описанное решение позволило добиться равномерного звукопоглощения в широком диапазоне частот без наличия свойственного ячеистым материалам локального снижения поглощающих свойств. Коэффициент звукопоглощения при толщине плиты 7 см в диапазоне частот от 200 до 6400 Гц составляет от 0,64 до 0,99. Следует отметить высокие характеристики звукоизоляции, по сравнению с существующими звукопоглощающими материалами, за счет применения резиноподобных слоев полиуретана. Коэффициент звукоизоляции в диапазоне частот от 100 до 6400 Гц составляет от 26,94 до 46,93 дБ. Выбранные материалы и концепция позволяют производить настройку акустических характеристик панели путем изменения пористости ячеистого слоя, вы-

бора волокнистого слоя, а также изменения соотношения толщин волокнистого слоя, фронтального и тыльного ячеистых слоев.

Звукопоглощающие материалы, как правило, не устойчивы к воздействию окружающей среды. Поскольку поглощение в таких материалах достигается за счет большого числа воздушных полостей и различных неоднородностей структуры, то это и является причиной ухудшения эксплуатационных характеристик в случаях внешних нежелательных воздействий. Попадание влаги и пыли в воздушные полости и поры внутри материалов приводит к потере акустической эффективности, что со временем ведет к полной потере функциональности. В настоящее время вопрос повышения стойкости материалов к воздействию влаги и пыли решается посредством гидрофобизации матрицы материала. Недостатком данного подхода является необходимость введения гидрофобизатора в массу, что приводит к увеличению стоимости материала за счет большого расхода гидрофобизатора. Меры по гидрофобизации также оставляют не решенной проблему защиты от пыли. Применение защитных материалов (покрытий) позволяет избежать описанных проблем, а также проводить влажную очистку, что повышает долговечность материалов, применяемых в помещениях.

Для борьбы с данными негативными воздействиями необходимо создание защитных покрытий или барьерных слоев, которые будут обеспечивать пыле- и влагостойкость, без негативного влияния на звукопоглощающие свойства.

В разработанной панели на фронтальной и тыльной поверхности в процессе формирования образуется микропористая полиуретановая пленка, которая защищает панель от воздействия внешних факторов, оказывая минимальное влияние на акустические характеристики. Наличие данной пленки на фронтальной поверхности образца увеличивает гидрофобность панели и позволяет проводить влажную очистку без ущерба для звукопоглощающих характеристик, а также уменьшает количество пыли и инородных частиц, попадающих в поры материала. Данное техническое решение имеет ряд преимуществ перед другими вариантами защиты материала – такими как защитные пленки, материалы или краски, так как не требует дополнительных операций по приклейке или окраске поверхности, а также дополнительных затрат на защитные материалы. Однако необходимо наличие оснастки с антиадгезивным покрытием и ровной поверхностью без дефектов.

Влагопоглощение панели при влажности $\phi=8\%$ в течение 15 сут составляет в среднем 5,29%, что является большим преимуществом по сравнению с используемыми в настоящее время базальтовыми звукопоглощающими материалами, быстро теряющими свои акустические свойства после воздействия влаги. По показателям влагопоглощения материал обладает большим запасом в соответствии с ГОСТ 23499–2009 – сорбционная влажность акустических материалов и изделий должна быть не более 10% при испытании в течение 3 сут.

Материал отличается технологичностью и низкой стоимостью благодаря исключению дополнительных материалов и операций по защите от влаги и пыли, а также отсутствию клеевых составов для соединения волокнистого и ячеистого материала.

Обсуждение и заключения

Таким образом, предложенная концепция позволяет удешевить материал относительно варианта с применением только полиуретановой пены, а также за счет того, что базальтовый волокнистый материал находится внутри базальтовой пены и итоговая панель не обладает недостатками волокнистых материалов. Исследованы акустические характеристики различных вариантов соотношений полиуретановой пены и волокнистого материала – с целью нахождения оптимальных с акустической точки зрения соотношений.

Преимуществом описанного метода является возможность придания криволинейной формы изделию за счет точного повторения контуров формы при вспенивании полимера, а также возможности придания сложной объемной геометрической формы и создания ступенчатых боковых граней, которые позволяют избегать пустот между панелями при их монтаже, что положительно сказывается на звукоизолирующих свойствах.

Выбранные технологии позволяют: производить высокоэффективную звукопоглощающую панель, которая не требует сложного оборудования в производстве; придавать материалу широкую гамму цветов (за счет применения в составе красящего пигмента). Такой материал оказался дешевле зарубежных и ряда отечественных аналогов. На панель выпущена технологическая документация и подана заявка на охраноспособное техническое решение.

Применение полимерной композиционной звукопоглощающей панели марки ВТИ-26 возможно в составе акустических экранов, что позволит обеспечить выполнение на прилегающих к транспортным магистралям территориях санитарных норм по уровню шума от транспортных средств, на производственных территориях – санитарных норм по уровню шума от работающего оборудования, а также норм в специализированных помещениях, таких как звукозаписывающие студии, безэховые камеры, концертные залы и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Ключевая проблема – материалы // Тенденции и ориентиры инновационного развития России: Сб. информационных материалов. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ВИАМ, 2015. С. 458–464.
2. Каблов Е.Н. России нужны материалы нового поколения // Редкие земли. 2014. №3. С. 8–13.
3. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
4. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2015. №1. С. 36–39.
5. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения // Защита и безопасность. 2014. №4. С. 28–29.
6. Шульдешов Е.М., Лепешкин В.В., Романов А.М. Метод оценки коэффициента отражения радиопоглощающих полимерных композиционных материалов // Контроль. Диагностика. 2015. №6. С. 44–48.
7. Шульдешов Е.М., Лепешкин В.В., Платонов М.М., Романов А.М. Метод определения акустических характеристик звукопоглощающих материалов в расширенном до 15 кГц диапазоне частот // Авиационные материалы и технологии. 2016. №2 (41). С. 45–49. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-2-45-49.
8. Шульдешова П.М., Деев И.С., Железина Г.Ф. Особенности разрушения арамидных волокон СВМ и конструкционных органопластиков на их основе // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №2. Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.06.2016). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-2-11-11.
9. Шульдешова П.М., Железина Г.Ф. Влияние атмосферных условий и запыленности среды на свойства конструкционных органопластиков // Авиационные материалы и технологии. 2014. №1. С. 64–68. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-1-64-68.
10. Платонов М.М., Шульдешов Е.М., Нестерова Т.А., Сагомонова В.А. Акустические полимерные материалы нового поколения (обзор) // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №4. Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.06.2016). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-4-9-9.
11. Шашкеев К.А., Шульдешов Е.М., Попков О.В., Краев И.Д., Юрков Г.Ю. Пористые звукопоглощающие материалы (обзор) // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №6. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.06.2016). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-6-6-6.
12. Сытый Ю.В., Сагомонова В.А., Кислякова В.И., Большаков В.А. Вибропоглощающие материалы на основе термоэластопластов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2013. №3. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.03.2017).
13. СП 23-104–2004. Оценка шума при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена. М., 2004. 7 с.
14. ГОСТ 33329–2015. Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Технические требования. М., 2015. 10 с.
15. ГОСТ 32957–2014. Дороги автомобильные общего пользования. Экраны акустические. Технические требования. 11 с.