

УДК: 544.77

С.Г. Седунов, М.П. Ступникова, К.А. Тараскин

ФГУП «Научно-исследовательский институт прикладной акустики»;
ул. 9 Мая, д. 7А, г. Дубна, Московская область; e-mail: kant1958@yandex.ru

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С АКУСТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Получена 19 февраля 2009 года

Опубликована 30 июня 2009 года

01.04.06 – акустика

На основании обзора данных литературных источников и технической документации обоснованы основные направления использования акустических материалов в качестве звукоизоляционных покрытий в строительстве, технике и промышленности. На базе проведенного исследования принципов и научных закономерностей звукопоглощения проведён выбор наиболее перспективных конструкций и технических изделий.

Проведена сравнительная оценка основных применяемых акустических материалов и разработаны принципиальные подходы к проведению научно-поисковых исследований в области совершенствования технологий производства и прикладного использования изделий со звукоизолирующими свойствами.

Ключевые слова: акустические материалы, звукоизоляционные покрытия, звукопоглощение, сравнительная оценка, научно-поисковые исследования.

ВВЕДЕНИЕ

На организм человека шум воздействует отрицательно: снижает остроту слуха, рассеивает внимание, мешает разговорной речи. При повышенной интенсивности шума изменяется кровяное давление, ухудшается координация движений. При длительных нагрузках на органы слуха возможно также возникновение изменений в сердечно-сосудистой и нервной системах. Поэтому снижение интенсивности шума до нормативных значений в производственных, общественных и жилых помещениях, на территории городов и отдельных предприятий является актуальной задачей.

Одним из наиболее действенных мероприятий по борьбе с шумом считается применение звукопоглощающих и акустических материалов [1], а также рациональное использование изготовленных из них конструкций [2]. Акустическими называют материалы и изделия, предназначенные для создания звукового комфорта. Для соблюдения требований санитарно-гигиенических норм по шумности [3], необходима акустическая обработка помещений промышленных, жилых и общественных зданий [4].

ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Человек способен воспринимать звуки в широком частотном диапазоне. По этой причине пользоваться абсолютными значениями этих величин для оценки акустической характеристики помещений из-за широкого диапазона частот крайне неудобно. В акустике принято измерять не абсолютное значение интенсивности звука или давления, а их относительные логарифмические уровни, взятые по отношению к пороговому значению. Если интенсивность звука больше исходной в 10 раз, то принято считать, что интенсивность звука превышает исходную на 1 Б (Бел). Орган слуха человека способен различать прирост звука на 0,1 Б, т.е. на 1 дБ, который принят в практике акустических измерений за основную единицу.

Физической характеристикой уровня звука является его сила в децибелах (дБ), представляющая собой количество энергии, пронесимое звуковой волной через сечение площадью в 1 см^2 , перпендикулярное направлению распространения звука, за 1 секунду. Физиологической характеристикой звука служит уровень его громкости в фонах (1 фон – это громкость звука, для которого уровень звукового давления равногромкого с ним сигнала частотой 1000 Гц равен 1 Дб). Отсчёт уровня громкости производят от так называемого порога слышимости или неуловимого уровня,

представляющего собой минимальную громкость звука, которую может уловить человек с нормальным слухом. Сравнительная характеристика уровней громкости звука представлена в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика некоторых уровней громкости звука

<i>Характер звука</i>	<i>Уровень громкости звука в фонах</i>
Порог слышимости	0
Шелест листьев при слабом ветре	15
Тишина в аудитории	20
Шепот на расстоянии 1 м	30
Разговор вполголоса	50
Шум в машинописном бюро	70
Шум трамвая на узкой улице	90
Звук автомобильного сигнала на расстоянии 5...7 м	100
Начало болевых ощущений в ушах	130
Шум реактивного двигателя на расстоянии 2...3 м	150

Правильный выбор необходимого акустического материала определяется характером решаемой задачи и зависит от вида шума, его уровня и частотной характеристики. Наиболее широко распространенной и актуальной прикладной проблемой является необходимость достижения предельно допустимых уровней (ПДУ), установленных для различных помещений. Согласно нормам действующего законодательства, при звукоизоляции необходимо следовать определённым стандартам. Так, санитарными нормами [5] устанавливается допустимый уровень шума для следующих категорий помещений: производственных – не более 85 дБ; офисных – не более 60 дБ; жилых – не более 55 дБ днём и 45 дБ ночью.

Акустические материалы и изделия по техническому назначению подразделяются на следующие категории [6]:

звукопоглощающие материалы, предназначенные для внутренней облицовки помещений и технических устройств с целью создания в них требуемого звукопоглощения;

звукоизоляционные материалы, предназначенные для изоляции от структурного (ударного) шума;

звукоизоляционные материалы, предназначенные для изоляции от воздушного шума.

Для проведения мероприятий, обеспечивающих надежный уровень звукопоглощения в случае использования акустических материалов, целесообразно рассмотреть основные закономерности, определяющие физические основы распространения и поглощения звуковых колебаний. Звуковая энергия, попадающая на ограждение (преграду), частично отражается от него, частично поглощается, переходя в тепловую энергию, и частично проходит через него. Материалы, обладающие способностью в основном поглощать звуковую энергию, называются звукопоглощающими. Для обеспечения эффективного звукопоглощения, материалы должны быть также высокопористыми. Вместе с тем, известно, что во многом эксплуатационные характеристики материалов определяются характером пор: если в теплоизоляционных материалах желательно иметь замкнутые поры, то в звукоизоляционных материалах, поры должны быть сообщающимися и возможно меньшими по размеру. Такие требования к строению звукоизоляционных материалов вызваны тем, что при прохождении звуковой волны через толщу материала, она приводит воздух, заключённый в порах, в колебательное движение. Мелкие поры создают большее сопротивление потоку воздуха, чем крупные. По этой причине, движение воздуха в мелких порах замедляется. В результате трения часть механической энергии превращается в тепловую. Значительная потеря

энергии, происходящая в мелких порах, способствует эффективному гашению звуковой волны.

На звукопоглощающие свойства материалов также оказывает существенное влияние и их упругость. В изделиях с гибким деформирующимся каркасом имеют место дополнительные потери звуковой энергии вследствие активного сопротивления материала вынужденным колебаниям под действием падающих звуковых волн.

Из практики строительства различных сооружений известно, что в ряде случаев облицовка поверхности конструкций осуществляется перфорированными листами из сравнительно плотных материалов (гипсокартон, асбестоцемент, металлические, пластмассовые листы и другие), которые обеспечивают строительным изделиям, наряду с повышенной механической прочностью и декоративностью, достаточно высокое звукопоглощение.

Звукопоглощающее свойство материала характеризуется коэффициентом поглощения, который представляет собой отношение поглощённой звуковой энергии ко всей энергии, падающей на материал. За единицу звукопоглощения условно принимают звукопоглощение 1 м^2 открытого окна. В соответствии с положениями Санитарных норм и правил [3, 4], к звукопоглощающим материалам относят те, которые имеют коэффициент звукопоглощения не менее 0,4 при частоте звукового сигнала, равной 1000 Гц. Коэффициент звукопоглощения определяется экспериментально в специальной акустической трубе и рассчитывается по формуле:

$$A_{зв} = \frac{E_{погл}}{E_{пад}},$$

где: $A_{зв}$ – коэффициент звукопоглощения;

$E_{погл}$ – поглощённая звуковая волна;

$E_{пад}$ – падающая звуковая волна.

Звук характеризуется частотой, интенсивностью и звуковым давлением. Скорость распространения звуковых волн зависит от упругих свойств, температуры и плотности среды, в которой они распространяются. Пространство, в котором распространяются звуковые волны, называют звуковым полем. При звуковых колебаниях среды, например воздуха, элементарные частицы этой среды начинают колебаться относительно начального своего положения. Скорость этого колебания намного меньше скорости распространения звуковых волн в воздухе. Во время распространения звуковых колебаний в воздухе появляются области повышенного давления и разрежения, которые определяют звуковое давление как разность давлений в возмущенной и невозмущенной воздушной среде. Таким образом, звуковое давление – переменное избыточное давление, возникающее в среде при прохождении звуковой волны. Обычно звуковое давление мало по сравнению с постоянным давлением в среде. При распространении звуковых волн происходит перенос кинетической энергии, величина которой определяется интенсивностью звука. В условиях свободного звукового поля, когда отсутствуют отраженные звуковые волны, интенсивность звука измеряется средним количеством звуковой энергии, проходящей в единицу времени через единицу поверхности перпендикулярно направлению распространения звука.

Уровень шума зависит от времени реверберации (времени звучания отражённого сигнала). Например, в помещении объёмом 100 м^3 с жёсткими поверхностями, время реверберации может составить от 5 до 8 секунд. Если поверхность покрыта хорошо поглощающим акустическим материалом

(например, в мебелированной жилой комнате), время реверберации составляет менее 1 секунды. Снижение времени реверберации до вышеупомянутого уровня увеличивает звуковой комфорт помещений, создаёт оптимальную рабочую атмосферу в лекционном или спортивном зале, офисе, кинотеатре, студии. Сравнительная характеристика коэффициентов поглощения различных акустических материалов представлена в таблице 2.

Таблица 2. Коэффициент звукопоглощения некоторых материалов

<i>Наименование</i>	<i>Коэффициент звукопоглощения при 1000 Гц</i>
Открытое окно	1,00
Акустические материалы:	
Акустические минераловатные плиты	0,70...0,90
Акустический фибролит	0,45...0,50
Акустические древесноволокнистые плиты	0,40...0,80
Акустические перфорированные листы	0,40...0,90
Теплоизоляционные материалы, используемые для звукопоглощения:	0,25...0,4
Минеральные плиты	0,25...0,4
Пеностекло с сообщающимися порами	0,3...0,5
Пеноасбест	0,6...0,8
Деревянная стена	0,06...0,1
Кирпичная стена	0,032
Бетонная стена	0,015

Звукоизоляционные материалы, предназначенные для защиты от ударного шума, представляют собой пористые прокладочные материалы с малым модулем упругости. Их звукоизоляционная способность от ударного шума обусловлена тем, что скорость распространения звука в них

значительно меньше, чем в плотных материалах с высоким модулем упругости. Так, скорость распространения звуковых волн в стали составляет 5050, в железобетоне – 4100, в древесине – 1500, в пробке – 50, а в поризованной резине – 30 метров в секунду. Упругие прокладки укладываются между несущей плитой перекрытия и полом. Такие конструкции полов называются "плавающими". Для устранения передачи ударного звука необходимо конструкцию пола отделять от стен по периметру помещения упругими прокладками. Основными показателями качества звукоизоляционных и звукопоглощающих материалов являются:

коэффициент звукопоглощения (отношение не поглощенной звуковой энергии к падающей), определяемый с помощью звукового интерферометра (ГОСТ 16297-80);

ревибрационный коэффициент звукопоглощения, определяемый в ревибрационной камере (ГОСТ 26417-85);

динамический модуль упругости, характеризующий вязко-упругие свойства материала.

К звукоизоляционным и звукопоглощающим относят те материалы, у которых коэффициент звукопоглощения не менее 0,2, а динамический модуль упругости – не более 15 МПа. Очевидно, что чем больше коэффициент звукопоглощения и чем меньше динамический модуль упругости (не в ущерб прочности), тем выше качество материала для решения задач строительной акустики. В таблице 3 приведены значения указанных показателей для некоторых материалов.

Таблица 3. Значения модулей упругости некоторых звукоизоляционных прокладок

Наименование	Средняя плотность, кг/м ³	Модуль упругости	
		статистический, МПа	динамический, МПа
Стекловолоконистые и минераловатные плиты и маты на синтетической связке	30-150	0,02-0,05	0,25-0,045
Мягкие древесноволокнистые плиты	20	0,3	1,4
Вспученный вермикулит в полиэтиленовых матах	150	0,15	1,8
Листы пенополиуретана	50	0,05	0,25
Листы пенополиэтилена	30	0,03	0,20

Звукоизоляционные материалы, предназначенные для изоляции от воздушного шума, широко используются при создании различных строительных конструкций. Уменьшение уровня воздушного шума осуществляется возведением стен, перегородок, перекрытий. В общем случае, звукоизоляционная способность ограждений пропорциональна логарифму массы конструкции. Поэтому массивные конструкции обладают большей звукоизоляционной способностью от воздушного шума, чем лёгкие. Поскольку устройство тяжёлых ограждений экономически нецелесообразно, надлежащую звукоизоляцию обеспечивают возведением двух- или трёхслойных ограждений, часто с воздушными зазорами, которые рекомендуется наполнять пористыми звукопоглощающими материалами. Желательно, чтобы конструктивные слои имели различную жёсткость и герметичность, так как это способствует повышению степени звукоизоляции.

Кроме классификации по назначению, акустические материалы подразделяются и по другим характеристикам, которые имеют много общего с характеристиками теплоизоляционных материалов. По внешнему виду

(форме) акустические материалы бывают сыпучие и штучные (плиточные, рулонные, маты). По строению и виду пористости акустические материалы делят на три группы:

материалы с волокнистым каркасом (минераловатные, асбестовые, фибролит, древесноволокнистые, древесностружечные, войлок и другие);

ячеистые материалы, полученные способом вспучивания или пенным способом (ячеистые бетоны, пеностекло);

смешанной структуры, например, акустические штукатурки, изготавливаемые с применением пористых заполнителей (вспученный перлит, вспученный вермикулит).

К звукопоглощающим материалам предъявляют повышенные по сравнению с теплоизоляционными материалами требования по механической прочности и декоративности [7], поскольку их применяют для облицовки стен внутри помещения. Так же, как и теплоизоляционные, они должны обладать низким водопоглощением, малой гигроскопичностью, быть огне- и биостойкими.

Знание закономерностей распространения звука в различных средах при различных его параметрах позволяет целенаправленно проводить мероприятия по борьбе с шумом: создавать эффективные звукоизоляционные материалы и конструкции, использовать различного рода экраны, позволяющие существенно снижать интенсивность шума в помещениях [8]. Для шумоизоляции промышленных объектов, где уровень шума может превышать безопасные для здоровья человека 85 дБ, наиболее актуальна звукоизоляция оборудования, которое является источником структурных и ударных шумов. Для этого следует избегать его непосредственного контакта с полом. На практике этого можно добиться путём установки оборудования на амортизирующие и виброгасящие подушки или создания акустического плавающего пола, обладающего высокими характеристиками

звукопоглощения. Кроме того, необходима звукоизоляция стен и потолков помещений шумопоглощающими материалами. Это позволяет снизить общий уровень шума до безопасной отметки. Оборудование, производящее шум свыше 100 дБ, лучше всего размещать в обособленных помещениях с высоким уровнем звукоизоляции. Специфические виды шумов, присущие отдельным видам деятельности, их частота и громкость требуют различного подхода к проблеме звукоизоляции жилых помещений, в том числе, использования специфических звукоизоляционных материалов и технологий [9].

В настоящее время отечественными предприятиями производятся следующие звукоизоляционные материалы.

1. Изделия звукопоглощающие марки БЗМ представляют собой маты из базальтовой ваты с волокнами 1-3 мкм в оболочке из стеклоткани или из кремнеземной ткани, прошитые соответствующими нитками. Толщина матов 30, 50, 100 и 200 мм; размеры 500×500 и 500×1000 мм; объемная масса материала 17-25 кг/м³. Температурный диапазон применения: от минус 40 до + 450⁰С – с оболочкой из стеклоткани и от минус 40 до + 700 ⁰С – с оболочкой из кремнеземной ткани. Маты – негорючие, влагостойкие, биостойкие, не выделяют токсичных веществ в процессе эксплуатации.

2. Холсты из микро-ультра-супертонких, стекломикрористаллических штапельных волокон из горных пород обладают свойствами, аналогичными свойствам звукопоглощающих изделий марки БЗМ. Толщина холстов 300 мм. Размеры: длина 1100...2100 мм, ширина 500...1200 мм. Объемная масса 1,9...10,0 кг/м³, с поджатием до 20 кг/м³.

3. Материал теплозвукоизоляционной марки АТМ-1 представляет собой мат, состоящий из рыхлого слоя супертонких штапельных стеклянных волокон, связанных фенолформальдегидной смолой и оклеенный алюминиевой фольгой или полиэтилентерефталатной пленкой или

стеклотканью или неоклеенный. Материал, неоклеенный и оклеенный фольгой, эксплуатируется при температурах от минус 60 до + 150 °С, оклеенный полиэтилентерефталатной пленкой – от минус 60 до + 80 °С . Материал изготавливают из супертонкого волокна со средним диаметром волокон не более 2,5 мкм из стекла малоборного состава. Маты выпускаются толщинами 20, 25, 30, 35 и 40 мм. Размеры: длина 5750 мм, ширина 500, 575 и 1000 мм. Объемная масса 10,0 кг/м³, в поджатом состоянии – порядка 15 кг/м³. Маты негорючие, влагостойкие, биостойкие, не выделяют токсичных веществ.

4. Маты из супер- и ультратонкого стеклянного волокна СТВ представляют собой многослойные холсты перекрученных штапельных волокон диаметром не более 3 мкм, получаемые из стекла щелочного состава способом раздува горячими газами и удерживаемые между собой силами естественного сцепления. Объемная масса 8...10 кг/м³. Размеры мата 1100×600 мм, толщина 40, 50 и 60 мм. Температурный диапазон применения до 450 °С. Материал негорючий, разрушается под действием влаги (после обработки водоотталкивающей добавкой ГКЖ-94 может применяться в условиях повышенной влажности), биостойкий, не выделяет токсичных веществ.

5. Маты теплозвукоизоляционные марки АТМ-10 изготавливаются из холстов супертонкого и стекломикрористаллического стеклянного штапельного волокна из горных пород и используются в интервале температур от минус 200 до + 900°С.

6. Поропласт полиуретановый эластичный марки ППУ-ЭТ представляет собой газонаполненную пластмассу пористой структуры. Объемная масса 40 кг/м³. Выпускается в виде пластин длиной 2000 мм, шириной 400, 850 и 1000 мм и толщиной от 5 до 300 мм. Температурный диапазон применения в необитаемых помещениях – от 15 до 100 °С, в

обитаемых – от 15 до 60 °С. Материал влагостойкий и биостойкий, трудносгораемый (с использованием в качестве огнегасителя поливинилхлорида и трехокси сурьмы). В процессе горения возможно выделение токсичных веществ, поэтому применение этого материала должно быть согласовано с органами пожарной охраны и Госсанинспекцией.

7. Звукопоглощающие плиты "Силакпор" изготавливаются из ячеистых бетонов автоклавного твердения, имеют пористую структуру и лицевой слой различной фактуры с неглубокой перфорацией, окрашенный в различные цвета. Толщина плиты 40 и 45 мм. Размеры 400×400 и 450×450 мм. Средняя объемная масса 345 кг/м³. Плиты негорючие, влагостойкие, биостойкие, не выделяют токсичных веществ.

8. Акустические гипсовые плиты марки АГП состоят из наружной перфорированной гипсовой панели, укрепленной ребрами жесткости, между которыми находится звукопоглотитель из минеральной или стеклянной ваты, оклеенный с тыльной стороны плиты фольгой. Коэффициент перфорации панели 12-15%. Толщина плит 30, 40 и 55 мм; размеры 600×600 и 810×810 мм. Плиты марки АГП широко используются для снижения шума и улучшения акустики помещений. Очень технологичны в изготовлении. Плиты трудносгораемые, биостойкие, не выделяют токсичных веществ. Применяются в помещениях с относительной влажностью не выше 70%.

9. Минераловатные плиты акустические марки ПА на синтетическом связующем изготавливаются из минеральной ваты марки ВФ-75 и синтетического связующего в виде композиции поливинилацетатной эмульсии и фенолоспиртов. Синтетическое связующее фиксирует пористость структуры – полужесткий или жесткий скелет – при плотности плит 120 – 200 кг/м³. Изготавливают плиты двух типов: ПА/С – стандартные и ПА/О – особые. Лицевая поверхность выполняется с несквозной перфорацией (ПА/О) или с отделкой "набрызгом" (ПА/С). Размер плиты 20×500×500 мм.

Плиты трудногораемые, биостойкие, не выделяют токсичных веществ. Применяют в помещениях с относительной влажностью не выше 70%.

Среди применяющихся непосредственно в качестве звукопоглощающих материалов в настоящее время наилучшими являются маты и холсты из базальтового волокна с объемной массой около 20 кг/м³ и толщиной волокон около 2 мкм. В промышленной звукоизоляции они часто используются в виде звукопоглощающих облицовок толщиной 20...100 мм звукоизолирующей преграды как со стороны источника звука, так и со стороны рабочего места. Перспективным звукопоглотителем является также легкий, эластичный, трудногораемый пенополиуритан с заткнутыми порами. Он хорошо держит форму при эксплуатации, технологичен в изготовлении и обладает высокими звукопоглощающими свойствами. Наиболее часто его применяют в кожухах машин.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ НОВЫХ АКУСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Как было показано в настоящем исследовании, акустические звукоизолирующие материалы находят широкое применение в самых разнообразных сферах техники. Вместе с тем необходимо отметить, что наиболее широко известными и значимыми областями использования звукоизолирующих материалов являются направления, обеспечивающие шумопоглощение в различных зданиях и в производственных помещениях. Известные разработки в области создания звукопоглощающих материалов позволяют, в большинстве случаев, достаточно эффективно решать настоящую проблему. Однако в ряде случаев, не удаётся достичь требуемых показателей шумозащиты с использованием традиционных подходов к решению этой задачи. Кроме того, современные подходы к организации трудового режима и быта людей требуют более качественной защиты от

различных раздражающих факторов окружающей среды, одним из которых является посторонний шум.

Для решения этой проблемы могут быть использованы различные подходы. Одним из перспективных направлений может считаться путь совершенствования акустических материалов, пригодных для использования в строительстве и промышленности. Как было показано выше, широко используемые в данных направлениях изделия представляет собой материалы, предназначенные для создания прокладок между каркасами строительных конструкций или промышленного оборудования. Такой подход получил всеобъемлющее распространения из-за дешевизны применяемых конструкций и удобства их использования в процессе организации шумозащитных мероприятий.

Вместе с тем, многочисленными научными исследованиями было неоднократно показано, что высокоэффективные звукопоглощающие покрытия могут создаваться на базе пенных составов [10]. На наш взгляд, использование пен в качестве изоляторов шума в строительстве, промышленности и других сферах незаслуженно мало. Это может объясняться отсутствием или недостаточной известностью широкомасштабных технологий прикладного использования пен. Вместе с тем, при правильной организации технологического процесса, применение пенных составов позволяет создавать более компактные, надёжные и в конечном итоге, дешевые конструкции.

Отдельного экспериментально-теоретического исследования требует направление использования в прикладном плане такой бурно развивающейся сферы, как нанотехнологии. Известно, что акустические свойства нанотрубок были открыты Карлом Фердинандом Брауном и Уильямом Генри Присом ещё на заре развития этой области научной деятельности [11]. Безусловно, перспектива применения наноматериалов несёт возможность создания новых

типов конструкций, отличающихся компактностью и высокой эффективностью. В настоящее время учеными различных стран [12-14] рассматриваются возможные направления применения объемных наноструктурных материалов: например, высокодемпфирующих материалов для снижения шумов, вызываемых вибрацией машин и механизмов [15].

Вполне вероятно, что широкое внедрение нанотехнологий может произвести революционный переворот в различных областях, в том числе и обсуждаемом направлении – использовании акустических материалов.

Широкому внедрению нанотехнологий в настоящее время препятствует высокая стоимость получения нанокompозиций. Эта стоимость, как правило, складывается из цены используемого сырья и затратного механизма производства необходимых изделий. Поэтому, целесообразно провести исследования, направленные на поиск более доступных материалов и отработать методы создания перспективных композитов по методикам, пригодным для широкого внедрения.

ВЫВОДЫ

Обоснованы основные направления использования акустических материалов в качестве средств звукоизоляции в строительстве, технике и промышленности на базе проведенного исследования принципов и научных закономерностей шумопоглощения.

Проведена сравнительная оценка основных применяемых акустических материалов и разработаны принципиальные подходы к проведению научно-поисковых исследований в области совершенствования технологий производства и прикладного использования изделий со звукоизолирующими свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипов Г.Л., Бобылев В.Н., Борисов Л.А. Звукоизоляция и звукопоглощение. М.: Издательство АСТ, 2004. – 464 с.
2. Болтон У. Конструкционные материалы: металлы, сплавы, Полимеры, керамика, композиты. Пер. с англ. М.: изд. «Додека-XXI», 2004, – 320 с.
3. СНиП 23-03-2003. Защита от шума и акустика. // М.: Госстрой России, 2004.
4. МГСН 2.04-97. Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции в жилых и общественных зданиях. Утверждены Правительством Москвы постановлением от 6.05.1997г. №325 // М.: ГУП "НИАЦ", 1997.
5. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. // М.: Минздрав России, 1996.
6. Звукоизолирующие покрытия. Альбом инженерных решений. ЗАО «Акустические материалы». Выпуск 1.3 Ru. Май 2008 г. – 36 с.
7. Кравченко А.А. Акустическая оболочка (Сборник материалов научно-технической конференции) / Install pro. Проект и технология. № 6 (36), 06.2005 // web@instal-pro.ru.
8. Устюгов В.А., Отставнов А.А. Шум – показатель качества инженерных систем зданий / Сантехника, № 5. – 2005. – С. 32 – 41.
9. Поверхностные акустические волны. Пер. с англ. под ред. А. Олинера. М., 1981.
10. Лысаков В.Н., Седунов С.Г., Тараскин К.А, Ступникова М.П. Методы получения и исследования свойств пенных составов, перспективных

для создания звукоизоляционных покрытий // Молекулярные технологии
Вып. 2. – 2007. С. 61 –79.

11. Акустические свойства нанотрубок. – 7.11.2008 – GlobalScience:
runewscientist.com.

12. Gleiter H. Nanocrystalline materials // Progr. Mater. Sci. – 1989. – V.33,
№ 4. – P. 223-315.

13. Nazarov A.A., Mulyukov R.R. Nanostructured Materials // Nanoscience,
Engineering and Technology Handbook / Eds. Lyshevski S., Brenner D., Iafrate J.
Goddard W. Boca Raton: CRC Press. 2002. P. 22-1 – 22-41.

14. Мулюков Р.Р. Развитие принципов получения и исследование
объемных наноструктурных материалов в ИПСМ РАН // Российские
нанотехнологии. 2007. Т. 2. № 7-8. С. 38-53.

15. Мулюков Р.Р. Объемные наноматериалы в машиностроении
будущего: методы получения, свойства и перспективы применения // Сб.
тезисов докладов научно-технологических секций международного форума
по нанотехнологиям 3-5 декабря «Rusnanotech-08». М. 2008.
www.rusnanoforum.ru.