

Смирнова Е. В. аспирант,
Васюткина Д. И., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

zchs@intbel.ru

Изложены результаты теоретических исследований звукоизолирующей и звукопоглощающей способности различных пористых строительных материалов.

Ключевые слова: акустика, звукопоглощение, звукоизоляция, акустические материалы, звукопроводность, звуковая волна, коэффициент звукопоглощения.

Акустические материалы по своему функциональному назначению подразделяются на следующие виды [1]:

— звукопоглощающие материалы, предназначенные для гашения воздушных шумов и регулирования акустических характеристик помещений;

— звукоизоляционные материалы, применяемые в качестве прокладок под плавающими полами и в многослойных ограждающих конструкциях для изоляции ограждений от ударных и воздушных звуков;

— вибропоглощающие материалы, предназначенные для изгибных колебаний, распространяющимся по жёстким (преимущественно тонким) конструкциям, для снижения излучаемого ими шума.

Начало широкого заводского производства акустических (особенно звукопоглощающих) материалов в нашей стране связано с развитием производства теплоизоляционных материалов и относится к 50-м годам XX столетия.

Особенно бурное развитие производств и применение акустических материалов получили в последнее время. При этом особое внимание уделялось и уделяется созданию наиболее эффективных материалов, сочетающих в себе акустические и декоративные свойства.

Создание новых видов акустических материалов, отличающихся более высокими функциональными и эксплуатационными свойствами, является и по сей день весьма важной задачей.

Советские учёные внесли большой вклад в теорию и практику развития производства акустических материалов и изделий. Используя основополагающие материалы, изложенные в трудах Б. Г. Скрамтаева, П. П. Будникова, Ю. И. Бута, А. В. Волженского, П. И. Боженова, Н. А. Попова, А. И. Августиника, В. В. Тимашева, И. И. Китайгородского, наиболее существенный вклад в развитие производства акустических материалов внесли К. Э. Горянов, Ю. П. Горлов, А. П. Меркин, В. А. Китайдев, А. И. Жилин, В. И. Соломатов, М. И. Хигерович, А. В. Жуков, А. Т. Баранов, Ю. Л. Бобров, В. Н. Соков, Б. М. Румянцев и многие другие.

Ими сформулированы научные концепции, вскрыты закономерности получения высокопористых материалов с высоко организованной пористой структурой, обеспечивающей высокие функциональные свойства материалов, получаемых из различного вида сырья; разработаны эффективные способы порообразования, которые реализованы в производстве и продолжают совершенствоваться.

Процесс поиска новых принципов производства высокопористых материалов продолжается и в настоящее время. В нём участвуют научные коллективы ряда научно-исследовательских институтов, в том числе учёные Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова.

Звукопоглощающие материалы характеризуются высокопористой структурой.

При этом эффективность звукопоглощения при прочих равных условиях зависит от параметров этой структуры, которые должны направленно регулироваться в зависимости от преобладающей частоты звуковых волн в данном помещении.

Сущность физического явления, происходящего при гашении звука пористым телом, заключается в следующем. Звуковые волны, падая на поверхность такого материала и проникая далее в его поры, возбуждают колебания воздуха, находящегося в узких порах. При этом значительная часть звуковой энергии расходуется. Высокая степень сжатия воздуха и его трение о стенки пор вызывают разогрев. За счет этого кинетическая энергия звуковых колебаний преобразуется в тепловую, которая рассеивается в среде [2].

Гашению звука способствует деформирование гибкого скелета звукопоглощающего материала, на что также тратится звуковая энергия; особенно этот вклад заметен в пористо-волокнистых материалах с открытой сообщающейся пористостью при ее общем объеме не менее 75%.

Звукоизолирующие качества ограждений основаны на применении специальных конструкций, как правило, многослойных, оказывающих повышенное сопротивление прохождению звуковых волн как ударного характера, так и распространяющихся в воздушной среде [4].

Придание звукоизолирующих свойств ограждению основывается на трех основных фи-

зических явлениях: отражении воздушных звуковых волн от поверхности ограждения, поглощении звуковых волн материалом ограждения, гашении ударного или воздушного шума за счет деформации элементов конструкции и материалов, из которых она изготовлена [4, 5].

Способность отражать звуковые волны важна для наружных ограждений здания. В этом случае для повышения отражения воздушных звуковых волн стремятся применять массивные конструкции с гладкой наружной поверхностью.

Отражающая способность преграды характеризуется коэффициентом отражения β :

$$\beta = \frac{E_{отр}}{E_{пад}} < 1 \quad (1)$$

где $E_{отр}$ и $E_{пад}$ — соответственно падающая и отраженная звуковая энергия.

Для внутренних помещений, как правило, высокая отражающая способность ограждения (перегородок) недостаточна, так как отраженные звуковые волны будут усиливать шум в наиболее шумном помещении. В данном случае применяют многослойные конструкции, в состав которых входят элементы из звукоизоляционных материалов, эффективность которых оценивается динамически модулем упругости. В качестве звукоизоляционных прокладок применяют пористо-волокнистые материалы из минеральной и стеклянной ваты, древесных волокон (древесноволокнистые плиты засыпки из пористых зерен (керамзита, шлака и т. п.) [6, 7].

Снижению уровня ударных и звуковых шумов способствуют малый динамический модуль упругости звукоизоляционных материалов и наличие воздуха в порах. В данном случае снижение интенсивности звука происходит за счет деформации элементов структур звукоизоляционных материалов и частично за счет звукопоглощения.

Качество звукоизоляционных ограждений оценивают их звукопроводностью τ [6]:

$$\tau = \frac{E_{прош}}{E_{пад}} < 1 \quad (2)$$

где $E_{прош}$ - прошедшая за преграду звуковая энергия.

К звукоизоляционным материалам относят прокладочные материалы, которые применяются в виде рулонов или плит в конструкциях междуэтажных перекрытий, во внутренних стенах и перегородках, а также как виброизоляционные прокладки под машины и оборудование.

Данные материалы характеризуются малым значением динамического модуля упругости, как правило, не превышающим $1,2 \text{ Мн/м}^2$ (12 кгс/см^2), при нагрузке 20 Мн/м^2 (200 кгс/м^2). Упругие свойства скелета материала и наличие воздуха, заключенного в его порах, обуславливают гашение энергии удара и вибрации, что способствует

снижению структурного и ударного шума. Различают звукоизоляционные прокладочные материалы, изготавливаемые из волокон органического или минерального происхождения (древесноволокнистые плиты, минераловатные и стекловолоконные рулоны и плиты толщиной от 10 до 40 мм, объемная масса $30\text{-}120 \text{ кг/м}^3$), а также из эластичных газонаполненных пластмасс (пенополиуретан, пенополивинилхлорид, латексы синтетических каучуков), выпускаемых в виде плит толщиной от 5 до 30 мм; объемная масса эластичного пенополиуретана $40\text{-}70 \text{ кг/м}^3$, пенополивинилхлорида $70\text{-}270 \text{ кг/м}^3$. В ряде случаев для целей звукоизоляции применяются штучные прокладки из литой или губчатой резины [1, 8].

Звукоизоляционные материалы подразделяют на штучные (ленточные, полосовые и штучные прокладки, маты, плиты) и сыпучие (керамзит, доменный шлак, песок).

Звукопоглощающие материалы классифицируются по следующим основным признакам: эффективности, форме жесткости (величине относительного сжатия), структуре и возгораемости.

По форме звукопоглощающие материалы и изделия подразделяют на штучные (блоки, плиты); рулонные (маты, полосовые прокладки, холсты); рыхлые и сыпучие (вата минеральная и стеклянная, керамзит, вспученный перлит и другие пористые зернистые материалы) [9].

По структурным признакам звукопоглощающие материалы и изделия подразделяют на пористо-волокнистые, пористо-ячеистые (из ячеистого бетона и перлита) и пористо-губчатые (пенпласты, резины).

При падении звуковой волны на ограждающую поверхность часть звуковой энергии отражается и часть поглощается материалом. Коэффициент звукопоглощения представляет собой отношение, характеризующее количество поглощенной энергии $E_{погл}$ к падающей $E_{пад}$:

$$\alpha = (E_{пад} - E_{отр}) / E_{пад} = E_{погл} / E_{пад} \quad (3)$$

где $E_{отр}$ — энергия отраженной звуковой волны.

Звукопоглощающие материалы предназначены для гашения воздушных шумов и регулирования акустических характеристик помещений, поэтому они должны обладать хорошим звукопоглощением, которое характеризуется среднеарифметическим реверберационным коэффициентом звукопоглощения α .

На величину α оказывают влияние уровень и характеристика звука (шума), свойства звукопоглощающего материала и в первую очередь характер и объем пористости этого материала, конструктивные особенности устройства звукопоглощающей облицовки ограждения [10].

Решающее влияние на звукопоглощение оказывает частота звуковой волны, т. е. один и тот же материал может хорошо поглощать высокочастотный звук и плохо низкочастотный. Поэтому

α определяют для каждого материала при нескольких значениях частот [7]. Весьма существенное влияние на α оказывают общий объём и характер пористости.

Наилучшие условия для поглощения звука создаются в материалах с сообщающейся пористостью. Для уменьшения количества отраженной энергии пористость звукопоглощающего материала должна быть открытой. С возрастанием частоты звука α одного и того же материала возрастает. При этом в диапазоне высоких частот его значения несколько снижаются. Наименьшим значением α звукопоглощающие материалы характеризуются в диапазоне низких частот (ниже 250 Гц). Низкочастотные волны в материал почти не проникают.

Выявлено, что высокочастотные волны лучше проникают в поры малых размеров без значительного отражения.

Материалы, значения α которых более 0,4 при частоте 1000 Гц, относят обычно к эффективным.

Выше было отмечено, что высокочастотные волны хорошо поглощаются порами малых размеров. Макропоры фибролита нельзя отнести к таковым. Однако малые поры в большом количестве имеются в древесной шерсти, из которой фибролит изготавливают. Этим и можно объяснить достаточно высокие значения α при высоких частотах. Отсюда следует, что для эффективного гашения высокочастотного звука надо не только создавать мелкопористую структуру в акустическом материале, но и применять для его изготовления сырьевые материалы, характеризующиеся большим объемом естественных пор малых размеров [7].

При проектировании и строительстве ограждающих конструкций необходимо учитывать звукопоглощающие свойства различных материалов и правильно их использовать.

Практически любая поверхность в той или иной степени поглощает звуковую энергию. Поглощение звуковой энергии различными материалами и конструкциями происходит за счет реактивных потерь при колебаниях конструкции.

Обычные строительные материалы – стекло, бетон, штукатурка и т.п. в общем случае имеют ничтожно малые коэффициенты звукопоглощения (чаще всего в диапазоне 0,01 – 0,05), т.е. практически полностью отражают падающие звуковые волны. Поэтому для устранения отраженной части звукового поля требуется применение специальных материалов или конструкций, обладающих значительно более высокими коэффициентами звукопоглощения и получивших название звукопоглощающих. Основное назначение таких конструкций заключается в снижении энергии отраженных волн при их падении на поверхность [1].

В настоящее время стандартизирована классификация звукопоглощающих материалов и из-

делий по величине коэффициента звукопоглощения α в определенном диапазоне частот. Материалы и изделия с $\alpha > 0,8$ в диапазоне низких (63, 125, 250 Гц), средних (500, 1000 Гц) и высоких (2000, 4000 и 8000 Гц) частот отнесены к первому классу звукопоглотителей, обеспечивающих максимальное снижение уровня звукового давления. Для второго класса в тех же диапазонах частот величина α лежит в пределах 0,4 – 0,8, а для третьего – 0,2–0,4 [8].

Использование этого основного акустического признака позволило среди многообразия применяющихся сейчас конструкций звукопоглощающих облицовок выделить три основные группы, охватывающие все виды выпускаемых в нашей стране изделий и отличающихся специфическими признаками как конструктивного, так и акустического характера [8].

К первой группе звукопоглощающих элементов, получивших наибольшее распространение и названных плоскими, относятся элементы, изготовленные из материалов полной заводской готовности (плиты типа «Акмигран», ПА/С, ПА/О и др.), а также выполненные в виде съемных кассет из перфорированных (металлических, асбестоцементных, гипсовых) покрытий со звукопоглощающими слоями из ультратонкого стекло- и базальтового волокна или минераловатных плит различных модификаций. Конструктивные элементы этой группы характеризуются коэффициентами звукопоглощения, как правило, не превышающими 0,8 – 0,9, и с учетом ограниченности занимаемой ими в помещении площади обеспечиваемый такой облицовкой средний коэффициент звукопоглощения в большинстве случаев не превышает 0,5.

Вторую группу звукопоглощающих элементов составляют так называемые объемные звукопоглощающие элементы, отличающиеся повышенным (по сравнению с плоскими элементами) на 50 – 70% коэффициентом звукопоглощения за счет дополнительного поглощения вследствие явления дифракции звуковых волн и более развитой поверхности поглощения. Конструкция объемных элементов относительно проста. Каждый элемент состоит из металлического каркаса, обтянутого дюралюминиевой просечно-вытяжной сеткой и заполненного ультратонким стекловолокном в оболочке из стеклоткани. Два таких элемента длиной 3 м, шириной 0,3 м и высотой сечения 0,25 – 0,35 м составляют панель потолка общей площадью около 1,5 м. Относительно небольшая масса панели (до 15 кг) позволяет легко осуществлять ее монтаж даже в условиях действующего цеха.

Третью группу звукопоглощающих элементов, являющаяся по существу одной из новых форм объемного элемента, два размера которого значительно превосходят третий, была выделена в самостоятельную из-за исключительной простоты

изготовления и монтажа, экономичности, удовлетворительного внешнего вида и высоких огнестойких качеств и получила название элементов кулисного типа.

Звукопоглощающие материалы имеют волокнистое, зернистое или ячеистое строение и могут обладать различной степенью жёсткости (мягкие, полужёсткие, твёрдые).

Мягкие звукопоглощающие материалы изготавливаются на основе минеральной ваты или стекловолокна с минимальным расходом синтетического связующего (до 3% по массе) или без него. К ним относятся маты или рулоны с объёмной массой до 70 кг/м^3 , которые обычно применяются в сочетании с перфорированным листовым экраном (из алюминия, асбестоцемента, жёсткого поливинилхлорида) или с покрытием пористой плёнкой. Коэффициент звукопоглощения этих материалов на средних частотах (250-1000 гц) от 0,7 до 0,85 [7].

К полужёстким материалам относятся минераловатные или стекловолокнистые плиты размером (мм) $500 \times 500 \times 20$ с объёмной массой от 80 до 130 кг/м^3 при содержании синтетического связующего от 10 до 15% по массе, а также древесноволокнистые плиты с объёмной массой 180-300 кг/м^3 . Поверхность плит покрывается пористой краской или плёнкой. Коэффициент звукопоглощения полужёстких материалов на средних частотах составляет 0,65-0,75. В эту же группу входят звукопоглощающие плиты из пористых пластмасс, имеющие ячеистое строение (пенополуретан, полистирольный пенопласт и др.).

Твёрдые материалы волокнистого строения изготавливаются в виде плит "Акминит" и "Акмигран" (СССР), "Травертон" (США) и др. размером (мм) $300 \times 300 \times 20$ на основе гранулированной или суспензированной минеральной ваты и коллоидного связующего (крахмальный клейстер, раствор карбоксиметилцеллюлозы). Поверхность плит окрашена и имеет различную фактуру (трещиноватую, рифлёную, бороздчатую). Объёмная масса 300-400 кг/м^3 , коэффициент звукопоглощения на средних частотах 0,6-0,7. Разновидность твёрдых материалов - плиты и штукатурные растворы, в состав которых входят пористые заполнители (вспученный перлит, вермикулит, пемза) и белые или цветные портландцементы. Применяются также звукопоглощающие плиты, в которых древесная шерсть связана цементным раствором (т. н. акустический фибролит).

Выбор материала зависит от акустического режима, назначения и архитектурных особенностей помещения.

Звукопоглощающие свойства наиболее ярко выражены в окружающих конструкциях, имеющих пористую структуру, однако недостатком таких конструкций являются плохие санитарно-гигиенические свойства (накапливание пыли, сложность ее удаления).

Таким образом, звукопоглощающие и звукоизоляционные материалы должны обладать повышенной способностью поглощать и рассеивать звуковые волны.

Кроме того, звукопоглощающие и звукоизоляционные материалы и изделия должны обладать стабильными физико-механическими и акустическими свойствами в течение всего периода эксплуатации; быть био- и влагостойкими; не выделять в окружающую среду вредных веществ.

Звукопоглощающие изделия, как правило, должны обладать высокими декоративными свойствами, так как их одновременно используют и для отделки внутренних поверхностей ограждений зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радоуцкий В.Ю. Сравнительный анализ оптимальных параметров акустических материалов различного состава // Материалы международной научной конференции «Образование, наука, производство и управление в XXI веке». Старый Оскол.: 2004.

2. Исследование звукоизолирующих свойств строительных материалов и конструкций на основе пеностекла. Радоуцкий В.Ю. Шапгала В.Г., Окунева Г.А., Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, № 4. 2008. С. 28-30

3. Эффективность звукоизолирующих ограждений на низких частотах / Л.М.Борисов, М.Б. Веселовский // Борьба с шумом и звуковой вибрацией. М.: Знание, МДТНП, 1984. - С.112 – 117.

4. Заборов В.И. Теория звукоизоляции ограждающих конструкций / В.И. Заборов. - М.: Стройиздат, 1969. - 180 с.

5. Борисов Л.П. Звукоизоляция тонких ограждений при диффузном падении звука / Л.П. Борисов // Исследования по строительной акустике: Сб. тр. ин-та. – М.: НИИСФ, ГОССТРОЙ СССР, 1981. – С.58 – 62.

6. Борьба с шумом / Под ред. Е.Я. Юдина. М.: Стройиздат, 1964. 704 с.

7. Борьба с шумом на производстве: Справ./ Е.Я.Юдин, Л.А. Борисов, И.В. Поренштейн и др.; Под общ. ред. Е.Я. Юдина. М.: Машиностроение, 1985.- 393 с.

8. Строительные материалы: Справочник / Под ред. Е.Н. Штанова. - Нижний Новгород: Изд-во «Вента-2», 1995. С.176 – 179.

9. Звукопоглощающие материалы и конструкции: Справочник. - М.: Связь, 1970. – 124 с.

10. Погодин А.С. Шумоглушащие устройства / А.С. Погодин. - М.: Машиностроение, 1973. - 179 с.