

## ВВЕДЕНИЕ

Опыт производства и применения декоративно-акустических материалов (ДАМ) в нашей стране и за рубежом показывает, что основным направлением их развития должно явиться производство однослойных пористых материалов полной заводской готовности. Однослойные ДАМ подтвердили свое преимущество (по сравнению с другими материалами) по технологичности изготовления, экономичности, возможности применения недефицитных материалов и ряду других показателей. Однако развитие производства однослойных пористых ДАМ сдерживается из-за отсутствия обобщающих научных исследований, выполненных в этом направлении, отсутствия теоретических и методологических разработок, определяющих принципиальные положения по технологии, требования к сырьевым материалам и конечной продукции. До настоящего времени нет обоснованных требований к акустическим, прочностным и эксплуатационным показателям изделий, которым они должны отвечать, отсутствуют рекомендации, обеспечивающие получение заданных свойств материала.

В монографии рассмотрены теоретические основы получения декоративно-акустических материалов, предназначенных для внутренней отделки помещений общественного и культурно-бытового назначения и отвечающих повышенным требованиям по физико-механическим, эксплуатационным, декоративным и акустическим показателям, а также практические пути, связанные с реализацией теоретических положений. В работе представлены:

- методика решения технологических задач в области ДАМ;
- требования к физико-механическим, акустическим и эксплуатационным показателям ДАМ;
- требования к сырьевым материалам, применяемым при получении ДАМ;

- принципы подбора составов исходных масс и технологические приемы получения ДАМ;
- результаты исследований процессов, связанных с предварительной подготовкой сырья, приготовлением смесей, формованием, сушкой и отделочными операциями;
- взаимосвязь показателей ДАМ с технологическими параметрами и их оптимизация с применением математических моделей;
- акустические, физико-механические и эксплуатационные показатели ДАМ.

Для достижения поставленной цели была разработана методика, исходным положением которой явилась разработка гипотетического изделия, отражающего основные требования к ДАМ из условия их надежной эксплуатации. К показателям, характеризующим такие требования, были отнесены структурные характеристики, размеры изделий, механическая прочность, сопротивление воздухопроницанию, гигроскопичность, огнестойкость и некоторые другие.

Разработка гипотетического изделия позволила перейти к созданию базовых изделий и технологий, которые обеспечивают получение ДАМ из различных сырьевых композиций при сходных пластично-вязких свойствах формовочных масс. Из сырьевых материалов были выделены волокнистые и зернистые компоненты, а также минеральные вяжущие, обеспечивающие получение материалов с ячеистой структурой.

В качестве основных направлений в разработке базовых технологий при изготовлении ДАМ рассматривалось вспенивание. Были установлены общие зависимости, характеризующие наиболее перспективные технологии, и определены частные зависимости для получения конкретных материалов.

Установление влияния отдельных технологических параметров на основные показатели ДАМ, а также оптимизация их составов проводились путем математического моделирования технологического процесса применительно к базовым ДАМ.

Расширение декоративных решений ДАМ предполагало систематизацию существующих и разработку новых приемов, применяемых на стадии отделки. Расширение декоративных решений было применено к базовым материалам, обладающим близкими показателями по механической прочности, твердости и пористости.

При разработке путей повышения эксплуатационных показателей ДАМ были намечены следующие направления:

- Улучшение водостойкости ДАМ физическими (пропитки полимерами, введение гидрофобных веществ) и химическими методами, связанными с объемной и поверхностной гидрофобизацией изделий.

- Повышение огнестойкости, которое достигалось за счет увеличения минеральной составляющей и применения антипиренов, покрытия огнестойкими составами.

- Повышение биостойкости, осуществляемое за счет снижения равновесной влажности материала, применения антисептиков.

Теоретические методы позволяют установить общие зависимости, характерные для однотипной группы процессов. В связи с этим такие методы были широко применены при изучении основных технологических процессов, связанных с подготовкой формовочной массы (перемешиванием), формованием заготовок (напыление, прессование, отлив), тепловой обработкой (сушкой). Многие из этих процессов определяются большим количеством переменных. Для того чтобы можно было обобщить и обоснованно распространить полученные зависимости на процессы, протекающие в других условиях, было применено математическое моделирование, основанное на методах математической статистики и теории вероятности. Было выполнено имитационное моделирование всего технологического процесса производства ДАМ, начиная от подготовки сырьевых материалов и заканчивая свойствами готовой продукции. Моделирование выполнялось согласно обобщенной технологической схеме и составляло пакет программ, учитывающих предварительную подготовку сырьевых компонентов, получение смесей, формирование и стабилизацию структуры.

В основу имитационного моделирования положены методы факторного анализа, позволяющие установить взаимное влияние и относительную важность переменных, описывающих данный технологический процесс. Имитационное моделирование обеспечило возможность контролировать и регулировать наиболее существенные факторы, определяющие стабильность технологии, оптимизировать технологический процесс, исходя из минимальных затрат дефицитных сырьевых компонентов и расхода тепла при обеспечении требуемого качества изделий.

Расчетно-аналитические методы были применены при изучении непрерывных детерминированных процессов. Они позволили установить характер и условия протекания конкретных процессов, точные количественные связи между отдельными величинами. Расчетно-аналитические методы были применены при разработке гипотетического и базовых материалов и изучении процессов вспенивания, перемешивания, формования, тепловой обработки, при исследовании влияния исходных сырьевых материалов, технологических параметров, условий монтажа и эксплуатации на свойства ДАМ.

Реализация комплексных методов исследования и установление их взаимосвязи позволили сформулировать методику решения технологических задач в области ДАМ, которая в дальнейшем была опробована при решении технологических задач при получении ДАМ с ячеистой структурой и на других материалах.

# 1. ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ПОРИЗОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

---

## 1.1. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ДЕКОРАТИВНО-АКУСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

### 1.1.1. Звукопоглощение лицевых элементов

Независимо от вида и назначения лицевых элементов изделий все они должны в большей или меньшей мере обладать звукопоглощающими свойствами. В связи с этим в качестве исходной позиции создания эффективных ДАМ было выбрано звукопоглощение, которое явилось определяющим при разработке структуры, составов, технологии изготовления и применения ДАМ.

Вопросами, связанными с изучением поглощения звука пористыми материалами, занимались многие ученые как в нашей стране, так и за рубежом. Большой вклад в теоретические разработки процесса звукопоглощения внесли Л. Рэлей, К. Цвиккер, К. Костен, Л. Беранек, Е. Скучик и другие зарубежные ученые. Ряд важных работ по изучению механизма звукопоглощения и исследованию определяющих параметров был выполнен в нашей стране Е.Я. Юдиным, Г.Л. Осиповым, К.А. Велижаниной, Л.А. Борисовым и др. [9; 36; 41].

По принятым представлениям, механизм звукопоглощения заключается в том, что при падении звуковой волны на пористый материал, воздух, находящийся в порах, приходит в колебание и благодаря его сопротивлению трения и вязкости часть звуковой энергии превращается в тепло. При этом за счет теплопроводности стенок пор происходит рассеивание энергии. Кроме того, при неидеальной упругости скелета материала наблюдаются релаксационные потери энергии.

Теоретические предпосылки в создании эффективных звукопоглощающих материалов базируются на закономерностях, отражающих распространение звуковых волн в воздухе, их переход из воздуха в поглощающий материал и поглощение в толще материала. В связи с этим основной задачей является определение параметров материала и способа его монтажа, приводящего к наиболее эффективному поглощению звука.

Известно, что звук, представляющий волновое колебание упругой среды, распространяется в воздушной среде в виде продольных волн. Основными характеристиками звуковой волны являются звуковое давление  $P$  и колебательная скорость  $V$ . Тогда уравнение плоской волны, распространяющейся в реальной среде, имеет вид

$$P = Pm e^{i\omega t - (\beta + ik)X},$$

где  $Pm$  — начальная амплитуда звукового давления;  $\omega$  — круговая частота;  $t$  — время;  $\beta + ik = v$  — постоянная распространения;  $X$  — постоянная затухания;  $k$  — волновое число;

$$k = \frac{2\pi f}{c} = \frac{\omega}{c}. \quad (1)$$

В дифференциальной форме с учетом сил трения уравнение распространения звуковой волны записывается как

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \rho \frac{\partial \vartheta}{\partial \tau} + r \vartheta$$

и

$$-\frac{\partial \vartheta}{\partial x} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial \tau}, \quad (2)$$

где  $\rho$  — плотность среды;  $r$  — коэффициент трения;  $k_0$  — модуль объемной упругости среды;  $k_0 = \rho \frac{\partial p}{\partial \rho}$ .

В результате преобразований уравнений (1) и (2) может быть получено уравнение распространения звуковых волн:

$$\rho \frac{\partial^2 p}{\partial \tau^2} = k_0 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}.$$

Откуда, по данным Е.Я. Юдина, могут быть выражены постоянная распространения  $v$  и колебательная скорость  $v$ :

$$v = \pm i\omega \sqrt{\frac{\rho}{k}};$$

$$\vartheta = \frac{i\omega}{kv} P. \quad (3)$$

Подставив значение  $\vartheta$  в уравнение (3), получим  $\vartheta = \frac{P}{\sqrt{\rho k}}$  или  $\frac{P}{\vartheta} = \sqrt{\rho k}$  — волновое сопротивление среды  $W$ .

Для воздуха  $W_0 = \sqrt{\rho_0 k_0} = \rho_0 c_0$ .

Следовательно, колебательная скорость частиц звуковой волны в воздухе связана со звуковым давлением следующим соотношением:

$$\vartheta = \frac{P}{\rho_0 c_0} = \frac{P}{W_0}.$$

При прохождении звуковой волны из воздуха в материал имеет место частичное отражение и поглощение звуковой энергии. Коэффициент, характеризующий величину поглощенной энергии, называется коэффициентом звукопоглощения  $\alpha$ , который равен:

$$\alpha = \frac{E_{\text{пад}} - E_{\text{отр}}}{E_{\text{пад}}} = \frac{E_{\text{погл}}}{E_{\text{пад}}},$$

где  $E_{\text{пад}}$ ,  $E_{\text{отр}}$  и  $E_{\text{погл}}$  — соответственно падающая, отраженная и поглощенная энергии.

Через интенсивность падающей и отраженной звуковых волн коэффициент  $\alpha$  может быть выражен как

$$\alpha = 1 - \frac{J_{\text{отр}}}{J_{\text{пад}}} = 1 - \left( \frac{P_{\text{отр}}}{P_{\text{пад}}} \right)^2,$$

или, если  $\frac{P_{\text{отр}}}{P_{\text{пад}}}$  обозначить как коэффициент отражения  $\varepsilon$ , то

$$\alpha = 1 - |\varepsilon|^2.$$

Условия прохождения звуковой волны из воздуха в материал характеризуются входным импедансом поглощающей поверхности  $Z$ , определяемым по формуле

$$Z = \frac{P}{\vartheta} = \frac{P_{\text{пад}} + P_{\text{отр}}}{\vartheta_{\text{пад}} - \vartheta_{\text{отр}}},$$

где  $P$  — суммарное давление в падающей и отраженной волне;  $\vartheta$  — колебательная скорость, равная разности скоростей в падающей и отраженной волне.

Выразив  $Z$  через давление и волновое сопротивление, получим

$$Z = W_0 \frac{1 + \varepsilon}{1 - \varepsilon}$$

или безразмерный импеданс

$$\varepsilon = \frac{\bar{Z} - 1}{\bar{Z} + 1}.$$

Коэффициент звукопоглощения  $\alpha$  при нормальном падении звуковых волн можно выразить следующим образом:

$$\alpha = 1 - \left| \frac{\bar{Z} - 1}{\bar{Z} + 1} \right|. \quad (4)$$

Из уравнения (4) следует, что между коэффициентом звукопоглощения и безразмерным импедансом материала существует самая тесная связь. Так, при  $Z = 1$  поверхность полностью поглощает все падающие на нее звуки ( $\alpha = 1$ ). В этом случае входной импеданс равен волновому сопротивлению воздуха  $Z = W_0 = \rho_0 C_0$ . Такое условие является важным и необходимым при разработке эффективных звукопоглощающих материалов. При других значениях импеданса  $\alpha < 1$ .

Акустический импеданс  $Z$  для звукопоглощающих материалов небольших толщин равен:

$$Z = R + jJ = \frac{rl}{3} + j \left[ \left( \rho_0 l \frac{m}{3p} \omega - \frac{1}{(\rho_0 C^2 / pl\omega)} \right) \right],$$

где  $l$  — толщина материала;  $\rho_0 l \frac{m}{3p}$  — инерционная масса системы;  $\rho_0 C^2 / pl$  — упругость системы.

Максимальное поглощение будет при условии, если импеданс чисто активен и равен волновому сопротивлению воздуха.

Тогда звуковые волны, падающие на материал, будут проходить через его поверхность без отражения и затухания вследствие потерь на трение в порах материала.

При частотах, значительно меньших резонансных, импеданс имеет отрицательную реактивную составляющую и поэтому коэффициент звукопоглощения  $\alpha$  мал. С приближением частоты к ре-



зонансной мнимая часть акустического импеданса стремится к нулю, а действительная — к некоторой постоянной сопротивлению  $r$ ; в результате коэффициент звукопоглощения увеличивается. После перехода через резонансную частоту импеданс  $Z$  управляется инерционной массой  $M$ , реактивная компонента становится отличной от нуля и коэффициент звукопоглощения  $\alpha$  уменьшается.

Распространение и гашение звука в пористом материале, с учетом сил трения, вызывающих переход звуковой энергии в тепловую, описывается дифференциальным уравнением:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\chi}{\sigma} \rho_0 \frac{\partial \vartheta}{\partial \tau} + r \vartheta$$

или

$$-\frac{\partial \vartheta}{\partial x} = \frac{\sigma}{\varkappa k_0} \frac{\partial p}{\partial \tau},$$

где  $\varkappa$  — фактор упругости;  $k_0$  — модуль объемной упругости свободной атмосферы;  $\chi$  — структурный фактор материала;  $\sigma$  — пористость материала;  $\rho_0$  — плотность воздуха;  $\vartheta$  — скорость колебания;  $r$  — постоянная сопротивления.

Структурный фактор  $\chi$  характеризует отношение приведенной плотности воздуха в порах материала к плотности свободного воздуха;  $\chi = \rho/\rho_0$ . Такой подход вызван тем, что из-за изгиба и изменения поперечного сечения  $\rho$  всегда больше  $\rho_0$  и, следовательно,  $\chi$  всегда больше 1. Наиболее эффективными являются материалы со структурным фактором, близким к единице (например, изделия из минеральной ваты).

Структурный фактор материала неразрывно связан с его пористостью  $\sigma$ . Сквозная пористость играет важную роль в процессе поглощения звука. Это связано с тем, что в порах материала процесс сжатия воздуха не является адиабатным, а сопровождается теплообменом между воздухом и поверхностью пор. Однако в теплообмене участвуют не только сквозные, но и тупиковые поры. Учитывая наличие в материале тупиковых пор, участвующих в колебательном процессе, в уравнение движения воздуха в пористом материале вводится фактор упругости  $\varkappa = \frac{K}{K_0} \frac{\sigma}{\sigma_1}$ , где  $\sigma$  — сквозная пористость;  $\sigma_1$  — пористость с учетом тупиковых пор.

Важным показателем, определяющим колебательный процесс в пористом материале, является сопротивление продуванию  $r$ . Ве-

личина сопротивления продуванию зависит от размера пор, их формы и поверхности, параметров воздуха, перемещающегося по порам. Величина  $r$  зависит также от частоты колебаний. Определение  $r$  в динамическом режиме является достаточно сложным, поэтому на практике применяют сопротивление продуванию, измеренное в статистических условиях

$$r = \frac{(p_1 - p_2)F}{Qh},$$

где  $(p_1 - p_2)$  — разность давлений;  $Q$  — постоянный поток воздуха;  $F$  и  $h$  — площадь и толщина образца, соответственно.

При высоких частотах и малых сопротивлениях продуванию ( $\omega \rightarrow \infty$ ,  $r \rightarrow 1$ )  $\eta = 0$  и

$$\beta = \frac{\eta\omega}{c_0} \sqrt{\frac{\chi}{4\alpha}} = \frac{r\sigma}{2\rho_0 c_0 \sqrt{\alpha\chi}}.$$

Здесь постоянная затухания стремится к постоянной величине, зависящей от сопротивления продуванию, пористости и динамических характеристик  $\alpha$  и  $\chi$ .

При малых частотах ( $\eta \rightarrow \infty$ )

$$\beta = k_0 \sqrt{\frac{\chi\eta}{2\alpha}} = \frac{\omega}{c_0} \sqrt{\frac{\chi r \sigma}{2\alpha \rho_0 \chi \omega}} = \sqrt{\frac{\omega r \sigma}{2\alpha \rho_0 c_0^2}}.$$

В этом случае затухание растет с частотой  $\sqrt{\omega}$  и не зависит от структурного фактора. Следовательно, чем ниже частота, тем материал прозрачнее для звуковых волн.

Механизм звукопоглощения однослойными пористыми материалами может быть представлен следующим образом (рис. 1). Звуковая волна, достигая поверхности звукопоглощающего материала, оказывает на него двойное воздействие: отражается от сплошных плотных участков, вызывая колебание материала, и проходит в толщу материала, вызывая колебание объемов воздуха в порах материала.

Первый случай обеспечивает эффективное звукопоглощение на резонансных частотах и зависит от массы единицы поверхности материала. Резонансная частота определяется по формуле

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho c^2}{md}},$$

где  $\frac{\rho c^2}{md}$  — упругое сопротивление воздушного промежутка;  
здесь  $m$  — масса изделия.

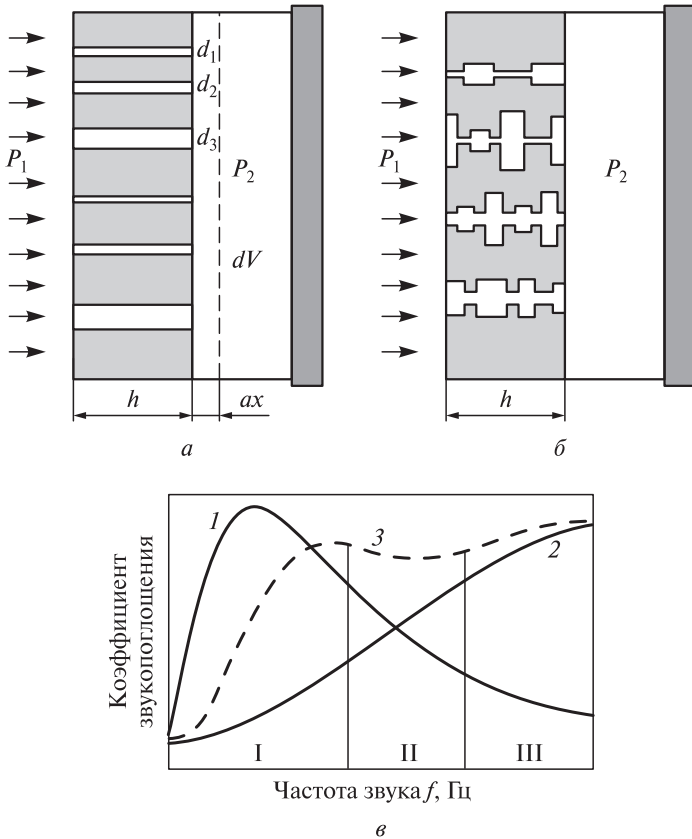


Рис. 1. Механизм поглощения звука:

$a$  — схема материала с различными размерами пор;  $б$  — схема материала с различной формой пор;  $в$  — характер поглощения; I — резонансное поглощение; II — смешанное поглощение (переходное); III — поглощение за счет потерь на трение; 1 — поглощение звука в материале, обусловленное характеристиками матрицы; 2 — поглощение звука в материале, обусловленное параметрами пористости; 3 — интегральная кривая поглощения звука

При монтаже с относом на резонансных частотах происходит изменение давления в объеме между жесткой стенкой и плотностью материала, из-за чего в материале возникают потоки воздуха. При этом эффективность поглощения на резонансных частотах будет обеспечиваться при достаточной плотности материала, период колебания которого меньше времени прохождения воздуха. При низкой плотности материала с сообщающейся пористостью не происходит образования избыточного давления за материалом, что вызывает снижение резонансного характера звукопоглощения. Резонансное поглощение характерно для низких частот и, следовательно, при повышении частот имеет место переходной участок, после которого звукопоглощение осуществляется за счет развитой пористости (см. рис. 1, в). На участке III резонансный характер практически отсутствует из-за трудности получения материалов с небольшой массой ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ) при достаточной плотности. Здесь механизм звукопоглощения носит иной характер. Наиболее эффективное звукопоглощение имеет место в случае совпадения размеров длины волны и размеров пор и каналов. В этом случае фронт давления, образованный на поверхности материала, передается внутрь, постепенно ослабевая за счет потерь на трение. Следовательно, оптимальной пористостью будет такая, при которой давление элементарной волны обеспечивает передачу сжатого воздуха в более удаленную пору (поры). При этом изменение давления от пульсирующего у поверхности будет переходить в среднее избыточное у тыльной стороны материала. Тогда гашение звуковой энергии будет происходить за счет деформации объема воздуха, находящегося в материале, и потерь на трение при прохождении сужений, каналов, внутренних пор.

Естественно предположить, что для поглощения звуковых волн более высоких частот требуется более мелкая пористость, так как энергия звуковой волны должна быть соизмерена с массой объема воздуха, находящегося в поре и достаточной для обеспечения там избыточного давления для перемещения воздуха в следующую пору.

Для несоизмеримых с размерами пор длины волн будет иметь место отражение звука в самой поре, а поглощение будет обеспечиваться за счет прохождения прямых и отраженных волн в толщу материала. Но так как вероятность попадания таких волн в толщу материала мала, то и эффективность звукопоглощения материала с крупными порами на высоких частотах будет незначительной. Наличие только мелких пор (особенно на поверхности) нельзя счи-

тять идеальным вариантом для поглощения даже высокочастотных звуковых волн. Дело в том, что интенсивность воздействия может быть настолько высока, что фронт звуковой волны не сможет полностью проникнуть в толщу материала, и тогда повышается доля отраженной энергии. Поэтому идеальным вариантом будет наличие большого количества мелких сообщающихся пор или каналов, соединяющих крупные, средние и мелкие поры между собой.

Кроме показателей пористости ( $\sigma$ ,  $d$  и др.) на коэффициент звукопоглощения большое влияние оказывают толщина слоя материала и способ его монтажа. Е.Я. Юдин показал [36], что чем менее плотный до известного предела слой, тем выше звукопоглощение. При слишком малой плотности отраженные от задней поверхности слоя волны не успевают затухать, что снижает эффективность материала. Увеличение сопротивления продуванию  $r$  обычно сопровождается повышением прочности материала и улучшением его эксплуатационных характеристик. Поэтому ряд авторов рекомендуют сопротивление продуванию материалов выбирать в пределах  $(2-8) \cdot \rho_0 c_0$ . С учетом этого толщину материала рекомендуется принимать как  $l = (0,08 - 0,25)\lambda_0$  или среднее значение  $l = 0,125\lambda_0$ . Согласно расчетам толщина слоя поглотителя на твердой стенке уменьшается с повышением  $\bar{R}$ , однако при этом может несколько уменьшиться и коэффициент звукопоглощения в области его максимального значения.

При рассмотрении влияния способов монтажа материала на звукопоглощение можно выделить два наиболее характерных состояния: слой пористого материала находится на жесткой стенке; слой пористого материала расположен с воздушным промежутком перед жесткой стенкой.

При неограниченно толстом материале волновое сопротивление материала равно нормальному импедансу  $|\bar{W}| = |Z|$ , а коэффициент поглощения  $\alpha$  при угле падения  $\varphi$  и фазовом угле безразмерного волнового сопротивления материала может быть представлен:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{4 \cos \xi} \left( |\bar{W}| \cos \varphi + \frac{1}{|\bar{W}| \cos \varphi} \right)}$$

При высоких частотах  $|\bar{W}| = \sqrt{\frac{\rho \chi}{\sigma}}$ ,  $\cos \xi = 1$ .

Отсюда следует, что на высоких частотах эффективность достаточно толстого слоя материала как поглотителя определяется его пористостью и динамическими постоянными  $\alpha$  и  $\chi$ . Чем меньше пористость, тем меньше коэффициент поглощения. Однако следует считать, что в интервале пористости от 0,4 до 1 значения  $\alpha$  достаточно велики. Форма пор заметно влияет на звукопоглощение, особенно при низкой пористости. Учитывая, что структурный фактор, близкий к 1, имеют волокнистые материалы, следует отметить, что они будут более эффективны на высоких частотах, чем зернопористые.

На низких частотах  $|\bar{W}| = \frac{1}{\sigma} \sqrt{\alpha \chi \eta}$ ,  $\cos \xi = 1$ .

При нормальном падении звука на низких частотах

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{2}}{4} \sqrt{\frac{r\alpha}{\sigma \rho_0 \omega}}} = \frac{2}{1 + \sqrt{\frac{r\alpha}{2\sigma \rho_0 \omega}}}. \quad (5)$$

Из формулы (5) видно, что чем меньше сопротивление  $r$  и чем меньше частота и пористость, тем ниже значения коэффициента поглощения. Величина поглощения на низких частотах определяется соотношением  $\frac{\rho_0 \omega}{r}$ . Чем ниже частота, тем меньшим удельным

сопротивлением продуванию должен обладать материал для получения высокого коэффициента поглощения. Отсюда следует, что теоретически при сколь угодно малой частоте можно получить высокий коэффициент поглощения. На практике это не всегда возможно, учитывая, что по мере понижения частоты должно уменьшаться сопротивление  $r$ . Это требует применения материала с более крупными порами, в которых затухание звука будет невелико. Поэтому необходимо увеличивать толщину слоя материала по мере уменьшения частоты.

Особый интерес представляет рассмотрение поглощения звука пористым слоем с воздушным промежутком между материалом и жесткой стенкой. Этот случай имеет большое практическое значение, так как появляется возможность получить высокое поглощение с помощью сравнительно тонкого слоя пористого материала. Воздушный промежуток позволяет сэкономить ту часть звукопоглощающего материала, которая находится у жесткой стенки и пло-

хо там работает из-за низких колебательных скоростей воздуха в порах. Особенно велико влияние воздушного промежутка на низких частотах.

В результате рассмотрения теоретических предпосылок, обеспечивающих получение эффективных звукопоглощающих ДАМ, установлено:

- разработка материала должна выполняться с учетом частотного спектра звуковых колебаний, способа устройства и монтажа конструкций;
- регулирование величины и частотных характеристик звукопоглощения материала возможно за счет способа гашения звука, толщины материала, изменения величины воздушного отнота от жесткой степени и путем изменения структурных показателей материала ( $\rho$ ,  $\sigma$ ,  $r$ , соотношения сквозных, тупиковых и закрытых пор);
- наиболее эффективным звукопоглощением в широком диапазоне звуковых частот обладают материалы с развитой акустической (сообщающейся) пористостью со структурным фактором, близким к 1, и сопротивлением продуванию  $r = (2-4) \cdot \rho_0 c_0$ .

### **1.1.2. Влияние структуры на формирование эксплуатационных свойств ДАМ**

При изучении и разработке новых видов ДАМ структура материала рассматривается как комплексное понятие, отражающее взаиморасположение отдельных компонентов и их взаимосвязь. Структура материала чаще всего определяется основным скелетообразующим материалом и корректируется видом и количеством связующего компонента. В качестве основных скелетообразующих компонентов для ДАМ можно применять зернистые и волокнистые материалы, а также порошкообразные (минеральные вяжущие) вещества, поризуемые в процессе переработки. В этом случае обеспечивается чаще всего ячеистое строение материала. Следовательно, для ДАМ наиболее характерным является зернистое, волокнистое и ячеистое строение.

Важным признаком, определяющим структурные особенности ДАМ, может служить пористость — количественное и качественное сочетание воздушных полостей в материале, т.е. величина пористости, распределение пор по размерам, преобладающий характер пор (ячеистая, зернистая, межволокнистая, смешанная). Суще-

ствует большое количество признаков, по которым осуществляется оценка пористости:

- по виду основного скелетообразующего материала (зернистая, волокнистая, ячеистая);
- по замкнутости пор (закрытая, сообщающаяся);
- по расположению пор (поверхностная и внутренняя);
- по способу получения (вспучивание, вспенивание, высокое водозатворение, образование волокнистого каркаса, механическое диспергирование, выгорание добавок) и т.д.

При изучении структуры ДАМ вид пористости (зернистая, волокнистая, ячеистая) был положен в основу классификации материалов, так как именно вид пористости тесно связан с технологией переработки исходных компонентов.

Большое влияние структура материала оказывает на прочностные и эксплуатационные показатели изделий. Материалы волокнистой, ячеистой и зернистой структуры имеют различный характер сцепления составляющих элементов и, следовательно, различный характер разрушения. Выбор рационального, научно обоснованного сочетания компонентов потребовал изучения основных видов структур, прежде всего с точки зрения их прочностных характеристик. Такие эксплуатационные показатели, как гигроскопичность, влагостойкость, горючесть, биостойкость, запыляемость, долговечность и др., также в значительной степени зависят от вида структуры материала.

Для достижения конечной цели и разработки эффективных технологических приемов при изучении пористости необходимо:

- установить зависимость прочностных и звукопоглощающих свойств материала от микро- или макропористости;
- дать сравнительную оценку основным видам пористости (зернистой, волокнистой, ячеистой);
- определить размер пор, соответствующий работе материала на заданной частоте, и установить соотношения пор по размерам для определенного интервала частот;
- наметить технологические приемы и способы их реализации для получения требуемой структуры материала.

### *Пористость звукопоглощающих материалов*

Рассмотрение теоретических положений, связанных со звукопоглощением пористых материалов, показало, что свойства этих



материалов и прежде всего звукопоглощение зависят от величины сквозной пористости, размера пор и распределения их по размерам. Изучением влияния показателей пористости на звукопоглощающие свойства занимались многие исследователи как в нашей стране, так и за рубежом. Много работ посвящено исследованию пористости легких и ячеистых бетонов, теплоизоляционных, облегченных керамических и огнеупорных материалов.

По существующим представлениям пористость строительных материалов складывается из макропористости, капиллярной, контракционной и гелевой. К макропорам относятся поры с размером более 1 мм, полученные путем газообразования, вспенивания, воздухововлечения или путем захвата свободного воздуха при перемешивании и формовании, например, легких бетонов. К капиллярным порам относятся поры с размером от 1 мкм до 1 мм, которые образуются в результате испарения свободной воды, вспучивания, вспенивания и других приемов. Контракционные поры имеют размер от 50 Å и ниже.

Звукопоглощающие свойства материалов прежде всего зависят от вида пор на поверхности материала и характера пористости внутри. В технологии строительных материалов различают открытые и закрытые поры, сообщающуюся и замкнутую пористость [16]. Основываясь на этой классификации, для оценки формы пор проведено их разделение по акустической активности на акустически активные и акустически пассивные (рис. 2). К акустически активным относятся открытые поры, размеры которых соизмеримы с длиной волны, к акустически пассивным — закрытые поры, не имеющие непосредственного выхода на поверхность материала. Сквозная пористость с тупиковыми порами и открытые несообщающиеся поры относятся к категории полупассивных.

Среди открытых пор выделяются гидравлически правильные поры, характеризующиеся низкими значениями входного сопротивления. Такая пористость характерна для материалов с зернистой структурой. Поры с постоянным сопротивлением присущи материалам с волокнистой структурой. Гидравлически неправильная пористость имеет высокое входное сопротивление. Такая пористость характерна для материалов с ячеистой структурой. Следовательно, материалы с традиционной ячеистой структурой имеют заведомо более низкие показатели звукопоглощения, чем зернистые или волокнистые. Данная классификация выполнена с учетом действия структурного фактора и модуля объемной упругости  $\alpha$ . Так,

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)