



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВПО «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

Библиотека научных разработок  
и проектов НИУ МГСУ

Б.М. Румянцев, А.Д. Жуков

**ЭКСПЕРИМЕНТ  
И МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ПРИ СОЗДАНИИ НОВЫХ  
ИЗОЛЯЦИОННЫХ  
И ОТДЕЛОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Москва 2013

УДК 517.28+536.491+699.86

ББК 22.161+22.317+38.637

Р 86

СЕРИЯ ОСНОВАНА В 2008 ГОДУ

Р е ц е н з е н т ы:

профессор, доктор технических наук *Ю.Л. Бобров* (ФАОУ ДПО ГАСИС),  
профессор, доктор технических наук *Л.Н. Попов*, заведующий кафедрой  
строительных материалов и изделий Московского государственного  
открытого университета

*Монография рекомендована к публикации  
научно-техническим советом МГСУ*

**Румянцев, Б.М.**

**Р 86** Эксперимент и моделирование при создании новых изоляционных и отделочных материалов : монография / Б.М. Румянцев, А.Д. Жуков ; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т». — Москва : МГСУ, 2013. — 156 с. (Библиотека научных разработок и проектов НИУ МГСУ).

**ISBN 978-5-7264-0700-5**

Основой моделирования являются теоретические положения или гипотезы о возможных структурных особенностях изучаемых систем и их взаимосвязи со свойствами. Модель (структуры, технологических процессов и пр.) в свою очередь является основой для планирования и проведения эксперимента. С другой стороны, эксперимент может рассматриваться как один из критериев верности принятых теоретических гипотез.

Взаимосвязь между моделью и экспериментом раскрывается на примере изучения моделей структур декоративно-акустических и теплоизоляционных материалов; моделирования технологических процессов для различных структур по интегральным параметрам и во времени.

Особое внимание уделено технологическому моделированию, в частности решению задач по подбору и оптимизации состава материалов, подбору и оптимизации технологических параметров их изготовления. Рассмотрены способы технологического моделирования на основе канонического анализа, крутого восхождения, комплексного метода с построением линейных, неполных квадратичных и квадратичных моделей.

Для научных работников, слушателей магистратуры и технологов стройиндустрии.

**УДК 517.28+536.491+699.86**

**ББК 22.161+22.317+38.637**

ISBN 978-5-7264-0700-5

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2013

*В области человеческого разума не существует  
полного объяснения окружающего мира во всем его  
многообразии и единстве*

*Иммануил Кант*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Изучая любой объект, физическое ли то явление или технологический процесс, экспериментатор умышленно упрощает его до удобного или до понятного уровня, т.е. представляет это явление или этот процесс в виде модели. При этом должны соблюдаться два условия: модель должна достоверно описывать реальный процесс и способствовать получению полезной и новой информации, а также должна быть экономична и удобна в использовании.

Модель может отличаться от реального объекта как масштабом, так и природой. В этом отношении математические модели не составляют особого исключения. Теория математического моделирования создана вообще и во многих частных приложениях. Согласно существующим представлениям [6], существует пять типов математических моделей: уравнения математической физики, концептуальные математические модели, экспериментально-статистические модели, модели исследования операций, имитационные модели.

*Модели, основанные на уравнениях математической физики*, базируются на анализе бесконечно малых изменений в физической системе бесконечно малого объема. В основе таких моделей лежат фундаментальные законы природы или не менее фундаментальные следствия из этих законов. Для инженерных расчетов необходим переход от бесконечно малых величин к конечным (измеримым) величинам в реальной системе. Этот переход в некоторых случаях аналитически сложен, а в большинстве невозможен, поэтому интегрирование заменяют приближенными методами. В качестве инженерного средства преодоления подобных «аналитических барьеров» и сформировалась теория подобия [2; 15], соединившая дифференциальные уравнения с экспериментальной информацией о системе.

*Концептуальные математические модели* имеют в своем основании некую инженерную мысль, выраженную в терминах данной науки с последующим абстрактно-знаковым описанием с помощью дифференциальных или алгебраических уравнений, геометрических соотношений, логических операций. Подобные модели достаточно

просто поддаются инженерной интерпретации, но не всегда могут быть адекватны реальным процессам.

*Экспериментально-статистические модели* описывают с известной точностью (степенью адекватности) связь между входами и выходами системы без анализа внутренней структуры этой системы. Для данного способа моделирования характерны универсальность методологии сбора экспериментальной информации, сложность всесторонней интерпретации параметров моделей и ограниченность области применения такой модели, адекватной только в рамках объекта, для которого эта модель построена.

*Модели исследования операций* как совокупности действий, направленных на достижение какой-либо цели, характерны, главным образом, для технико-экономических задач. В основе *имитационных моделей* лежит объединение различных способов моделирования, включение моделей любых типов.

Отдельной областью моделирования необходимо признать *модели, построенные на умозаключениях*, т.е. на теоретическом осмыслении и имеющихся предпосылок (существующих концепций и «багажа» знаний), и результатов практических исследований, добытых в эксперименте, и умозаключений самого «создателя» модели. В этом «создателю» широкую поддержку оказывают базы данных и современные способы накопления и обработки информации.

При решении реальных задач нет четких границ применения различных типов моделей. В задачах анализа систем, направленных на познание внутренних механизмов их функционирования, приоритетным являются физико-математическое и концептуальное моделирование, в задачах управления конкретной системой (технологией изготовления материала, например) — статистические модели, модели исследования операций, а также имитационные модели на их основе.

Статистические методы разработаны, обоснованы и широко применяются в практике моделирования и анализа технологических процессов. Статистические модели получают на основе специальных методов планирования и обработки результатов эксперимента, т.е. реализации той совокупности действий, к которой надо обращаться, чтобы задавать природе интересующие нас вопросы. Подобные модели занимали и, вероятно, будут занимать основное место в инженерной практике, особенно, в условиях все более расширяющегося применения компьютеров.

Каждый из рассматриваемых в монографии способов моделирования предполагает знание экспериментатором теории процесса, законов физики хотя бы на уровне вузовских программ, развитой культуры мышления, изложения фактов и принятия решений [35].

О моделировании технологических процессов в рамках кибернетических моделей, моделей, построенных на основе систем дифференциальных уравнений и законов, описывающих макрообъекты, а также графического и визуального моделирования, и пойдет речь в монографии.

Технологическое моделирование является одним из прикладных аспектов системно-динамического моделирования (системной динамики), которое широко применяют для анализа и прогнозирования сложных процессов различной природы и формирования специализированных информационно-аналитических систем поддержки принятия решений.

Применение методов имитационного моделирования в исследовании промышленных систем [10; 11] позволяет решать не только технологические задачи, но и задачи бизнес-планирования, логистики и обработки грузов, повышения эксплуатационной надежности и оптимизации систем энерго- и водоснабжения [29].

Реализация положений системной динамики позволяет исследовать технологические риски промышленных систем, осуществлять анализ риска аварий, оценивать условия обеспечения работоспособности технологических установок при сохранении заданного уровня производительности. На основе использования методов теории живучести стала возможной оценка безопасности промышленных технологий, обеспечение интеграции пространственной информации и экспертных знаний при моделировании природно-технических комплексов. Основой системного анализа технологических процессов является математическое моделирование, в частности с применением методов математической статистики.

В монографии изложены классические и современные методы аналитического моделирования технологических процессов и математического планирования эксперимента, системного анализа технологических процессов, основные принципы построения логических и детерминированных моделей отдельных технологических процессов. Рассмотрены способы построения интерполяционных моделей и аналитическая оптимизация этих моделей в условиях адекватности.

# **1. МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

## **1.1. Модель структуры и закономерности формирования свойств декоративно-акустических материалов**

### *1.1.1. Особенности структуры высокопористых материалов*

Структура материала чаще всего определяется основным скелетообразующим материалом (матрицей) и корректируется видом и количеством связующего компонента. В качестве основных компонентов матрицы для декоративно-акустических изделий возможно применение зернистых и волокнистых материалов, а также порошкообразных веществ (минеральных вяжущих), поризуемых в процессе переработки. В этом случае обеспечивается чаще всего ячеистое строение материала.

Важным признаком, определяющим структурные особенности декоративно-акустических и теплоизоляционных материалов, может служить пористость — количественное и качественное сочетание воздушных полостей в материале, т.е. величина пористости, распределение пор по размерам, преобладающий характер пор (ячеистая, зернистая, межволокнустая, смешанная). Существует большое количество признаков, по которым осуществляется оценка пористости:

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

В основу классификации высокопористых материалов положен вид пористости (зернистой, волокнистой, ячеистой), обусловленный 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. Эксплуатационные показатели такие, как гигроскопичность, влагостойкость, горючесть, биостойкость, запыляемость, долговечность и другие, также в значительной степени зависят от вида структуры. Поэтому следует изучить влияния структуры на основные эксплуатационные показатели материала и наметить пути формирования структуры, отвечающей надежной эксплуатации.

Для достижения конечной цели и разработки эффективных технологических приемов при изучении пористости необходимо ответить на следующие вопросы:

- микро- или макропористость определяет прочностные и звукопоглощающие свойства материала;
- 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.** Свойства высокопористых 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 [30]. Множество 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.

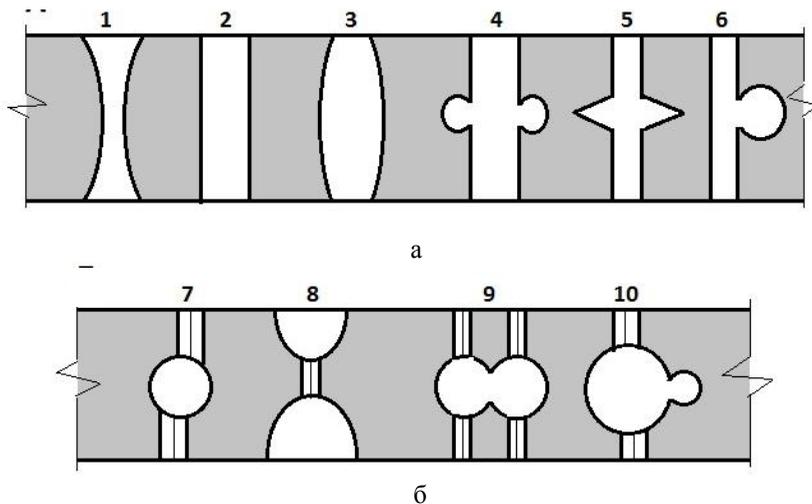
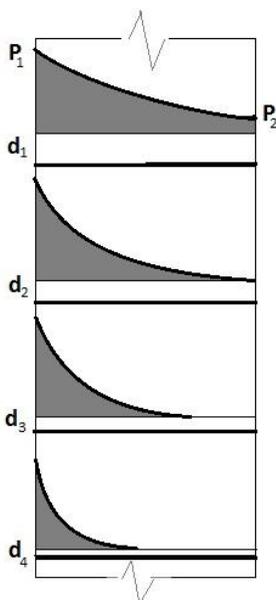


Рис. 1. Виды пор: а — открытые поры; б — закрытые поры;  
 1 — гидравлически правильная пористость (зернистые структуры);  
 2 — пористость с постоянным сопротивлением (волокнистые структуры);  
 3 — гидравлически неправильная пористость (ячеистые материалы);  
 1, 2, 3 — активная пористость; 4, 5, 6, 8 — виды полупассивных пор;  
 7, 9, 10 — пассивная пористость



$$\Delta P_{зв} = \Delta P_{тр};$$

$$\Delta P_{тр} = \lambda' \frac{l}{d_{э\kappa}} \cdot \frac{c^2}{2} \cdot \rho_t;$$

$$d_{э\kappa} = \lambda' \frac{l}{\Delta P} \cdot \frac{c^2}{2} \cdot \rho_t;$$

$$d_{\min} \approx 0,100 \text{ мм}$$

Рис. 2. Схема и условия расчета размеров пор

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. Основываясь на этой классификации, при оценке формы пор их делят по акустической активности на акустически активные и акустически пассивные (рис. 1). К акустически активным относятся открытые поры, размеры которых соизмеримы с длиной волны. К акустически пассивным были отнесены 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 (рис. 2). 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, для акустически активных, гидравлически правильных пор  $\chi = 1$ ,  $\alpha = 1$ , для пор с постоянным сопротивлением  $\chi = 2-3$ ,  $\alpha > 1$ , для гидравлически неправильных пор  $\chi = 4$ ,  $\alpha \gg 1$ .

Для оценки возможности получения эффективных декоративно-акустических материалов были рассмотрены пористые материалы различной структуры. Однако, как следует из теоретических предпосылок, размер пор тесно связан с частотой звука. Так, увеличение звукопоглощения на низких частотах может быть достигнуто за счет относительно больших пор, а на высоких — за счет мелких пор. Следовательно, для поглощения звука в широком диапазоне частот необходимо сочетание крупных и мелких пор. Значительно меньше данных, характеризующих нижний предел размера пор. Так, установлено, что уменьшение размера пор менее 50 мкм приводит к резкому снижению звукопоглощения. Объясняется это ухудшением условий прохождения звуковых волн внутрь материала.

Исследование пористости материалов с высокими звукопоглощающими свойствами показало, что они обладают мелкозернистой, полидисперсной пористостью с размерами пор 100—250 мкм. При этом величина сквозной пористости находится в пределах 70—90 %. Большой процент сообщающейся пористости снижает эффективность звукопоглощения вследствие уменьшения вязкого трения воздуха в материале.

В табл. 1 приведена характеристика наиболее распространенных пористых материалов. Пористые материалы различной структуры имеют примерно одинаковую общую пористость. Однако с точки зрения эффективного поглощения, наиболее пригодны материалы с волокнистой структурой, обладающие только открытой пористостью. Заведомо худшие показатели по звукопоглощению будут у материалов с зернистой и ячеистой структурой. И совсем ставится под сомнение целесообразность применения для гашения воздушных звуковых волн таких материалов, как пеностекло и пенопласты, имеющих преимущественно закрытую пористость.

*Таблица 1*

### **Характеристика пористости материалов различной структуры**

| Структура   | Материалы      | Пористость |          |          |
|-------------|----------------|------------|----------|----------|
|             |                | Общая      | Открытая | Закрытая |
| Ячеистая    | Ячеистый бетон | 85—90      | 40—50    | 40—50    |
|             | Пеностекло     | 85—90      | 2—5      | 83—85    |
|             | Пенопласты     | 92—94      | 1—55     | 45—98    |
| Волокнистая | Минераловатные | 85—92      | 85—92    | 0        |
|             | Стекловатные   | 90—95      | 90—95    | 0        |
| Зернистая   | Перлитовые     | 85—88      | 60—65    | 22—25    |
|             | Стеклопоровые  | 92—99      | 60—65    | 30—35    |

Анализ приведенных данных показал, что требованиям по звукопоглощению отвечает пористость волокнистых материалов, пористость ячеистых и зернистых материалов должна быть скорректирована в направлении увеличения количества сообщающихся пор. Однако на эффективность звукопоглощения влияет не только абсолютное значение открытой пористости, но и размер пор, их форма, распределение пор по размерам.

С уменьшением размера пор при сохранении абсолютных значений пористости увеличивается их количество и, следовательно, уве-

личивается поверхность пор. Очевидным является и то, что уменьшение размера пор должно быть до определенных размеров, иначе они перейдут в категорию акустически пассивных, что будет соответствовать наличию закрытой пористости. Для определения минимальных размеров акустически активных пор были выполнены расчеты, в которых затухание звуковых волн рассматривалось как потеря давления при движении воздуха по цилиндрическим порам (см. рис. 1).

Минимальный размер пор, активно участвующих в гашении звука, составляет 100 мкм и более. Снижение звукового давления обеспечивает эффективное гашение звуковых волн в порах больших размеров. Эти данные хорошо согласуются с данными, полученными при исследовании зернистых структур, где показано, что наилучшим размером пор для звукопоглощающих пористых материалов следует считать 100—400 мкм. Из результатов, полученных В.А. Градовым при исследовании волокнистых структур, следует, что достаточно эффективной для низких частот является пористость волокнистых материалов с размером пор 350—400 мкм, для высоких частот — 20—50 мкм.

Ограничение верхнего размера пор (примерно 400—500 мкм) связано с тем, что увеличение размера пор вызывает увеличение инерционной составляющей воздуха по сравнению с его вязкостью. Поэтому независимо от вида материала максимальные значения коэффициента звукопоглощения при увеличении размера пор уменьшаются. Оптимальным распределением обладают материалы с волокнистой структурой, хуже с точки зрения звукопоглощения распределение пор у ячеистых и зернистых материалов.

Изучение влияния параметров пористости на звукопоглощение позволяет сформулировать технологические условия регулирования свойств:

- создание многомодальной пористости, обеспечивающей гашение звука на средних и высоких частотах;
- получение сообщающихся пор, обеспечивающих прохождение звуковой волны в толщу материала и сохранение фильтрационного режима его работы;
- обеспечение необходимого сопротивления продуванию для эффективного перевода звуковой энергии в тепловую за счет трения воздуха о стенки пор (увеличение активной составляющей).

**Прочность высокопористых материалов.** Определяется, прежде всего, абсолютным объемом пор, их размером и формой. С другой стороны, на прочностные показатели пористых систем значительное влияние оказывают вид и свойства скелетообразующего материала, а также свойства контактного слоя.

Увеличение пористости однопористых материалов вызывает снижение прочности. Однако такой общий подход может меняться в значительных пределах в зависимости от вида и качества сырьевых материалов, наличия всевозможных добавок, технологии и параметров изготовления. Прочность также зависит от пространственного расположения пор, распределения пор по размерам, толщины межпоровых перегородок, диаметра волокна или крупности плотности заполнителя.

По данным многих авторов, влияние прочности и плотности ячеистых бетонов связано квадратичной параболой, причем с увеличением средней плотности предел прочности материала возрастает в большей степени, чем плотность. Сферическая пористость ячеистых материалов и межзерновая пористость зернистых материалов обеспечивают меньшую анизотропность, чем пористость волокнистых материалов, где в зависимости от расположения волокон (вертикальное, горизонтальное) сжимаемость изменяется в несколько раз. Оптимальной считается сферическая форма пор с ровной гладкой поверхностью. В порах эллиптической формы прочность материала выше, если нагрузка действует вдоль длинной оси эллипса. Однако для материалов ячеистой структуры первостепенное значение из структурных характеристик на прочностные показатели оказывает равномерность распределения пор в объеме материала [32].

При изучении влияния размера пор на механические свойства изделий установлено, что материалы со сферической формой пор одинакового диаметра имеют наилучшие физико-технические свойства. Это же положение может быть распространено и на материалы с тонкими, часто переплетающимися волокнами и на материалы из мелкозернистых заполнителей. Следовательно, если исходить из условий эффективного звукопоглощения и обеспечения высокой прочности поризованных материалов, необходимо стремиться к уменьшению размера пор до величины 100—400 мкм.

Волокнистая структура представлена группами волокон, расположенных в продольном, поперечном и вертикальном направлении. Под действием нагрузки  $P$  в верхней зоне возникают сжимающие

напряжения, которые могут вызвать разрушение волокна от изгибающих напряжений и нарушение сплошности за счет сдвига или разрыва в зоне контактного омоноличивания волокон. При работе волокна в растянутой зоне разрушение может произойти или за счет растягивающих напряжений в волокне, или при адгезионном (когезионном) разрушении связующего. Первый вариант маловероятен, учитывая значительную несущую способность волокна при разрыве. Вертикальные волокна как в сжатой, так и в растянутой зоне, могут работать только на изгиб и срез с незначительными напряжениями в зоне контактов.

Улучшение прочностных показателей материалов с волокнистой структурой может быть достигнуто путем увеличения несущей способности волокна, увеличения плотности расположения волокон и повышения пространственной жесткости материала, улучшения адгезионно-когезионной прочности связующего и увеличения поверхности контакта волокон через связующее [5].

Зернистая структура, представленная кубической и гексагональной укладкой шарообразного заполнителя при полном заполнении объема материала, показывает, что в сжатой зоне прочность материала определяется прежде всего поверхностной прочностью заполнителя, который работает на сжатие в зонах контакта. Частичное омоноличивание заполнителя увеличивает площадь контакта и обеспечивает перераспределение напряжений. Следовательно, улучшение прочностных показателей зернистых материалов в сжатой зоне достигается путем повышения поверхностной прочности заполнителя или увеличения степени контактного омоноличивания.

В растянутой зоне разрушение зернистых материалов возможно по ослабленному зерну, через зону контакта или по омоноличивающему связующему. Из этого следует, что улучшение работы материалов зернистой структуры в растянутой зоне может быть достигнуто за счет повышения прочности зерна на разрыв, увеличения степени омоноличивания и адгезионно-когезионных свойств связующего.

Ячеистая структура материала представляет собой поры чаще всего сферической формы, разделенные межпоровыми перегородками [8]. При работе в сжатой зоне в межпоровой перегородке возникают сжимающие и касательные напряжения. Следовательно, прочность материала в сжатой зоне определяется несущей способностью межпоровой перегородки и, в частности, площадью попе-

речного сечения перегородки поры или группы пор, приходящихся на единицу площади.

В растянутой зоне материал ячеистой структуры работает на растяжение или на растяжение со сдвигом. В связи с тем, что предел прочности при сжатии для большинства строительных композиций значительно превышает предел прочности при сжатии и сдвиге, наиболее опасной зоной у материалов ячеистой структуры будет растянутая зона. Для обеспечения эффективной работы материала с ячеистой структурой он должен обладать межпоровыми перегородками, которые одинаково хорошо работают на сжатие и на растяжение ( $R_{сж} \approx R_{раст}$ ). Такое условие может быть достигнуто, например, при дисперсном армировании массы или при введении полимерных добавок [7].

В результате рассмотрения условий работы поризованных материалов различной структуры сформулированы общие положения обеспечения необходимой прочности:

- создание мелкодисперсной волокнистой, ячеистой или зернистой структуры с омоноличиванием связующим;
- повышение прочностных показателей материалов ячеистой и зернистой структуры возможно за счет дисперсного армирования и введения полимерных добавок в растворную часть.

**Структура и эксплуатационные свойства декоративно-акустических материалов.** Отрицательные воздействия окружающей среды на структуру материалов могут быть выражены через увлажнение, нагревание, воздействие высоких температур и открытого пламени. Непосредственно от увлажнения зависит биологическая стойкость материалов. Воздействие высоких температур часто является причиной появления токсичных компонентов.

Отношение материала к действию влаги в значительной степени определяет эксплуатационные возможности материала: условия применения, надежность и длительность службы, возможность появления деформаций и коробления при увлажнении и т.д. Знакопеременные процессы, связанные с колебаниями влажности, вызывают обратимые и необратимые изменения его структуры, что сопровождается изменением физико-механических свойств материала. В общем случае увлажнение материала всегда сопровождается снижением прочности (эффект П.А. Ребиндера).

При сорбционном увлажнении материала имеет место адсорбция и капиллярная конденсация. Адсорбция водяных паров — процесс

обратимый, соответствующий малым давлениям пара. При увеличении концентрации пара на поверхности пор могут образовываться многомолекулярные слои, которые в микропорах смыкаются с образованием выпуклых или вогнутых менисков.

По данным А.В. Лыкова [20], размер пор, в которых происходит капиллярная конденсация жидкости при нормальных температурно-влажностных условиях, составляет от 0,2 мкм. В порах больших размеров образование мениска за счет сорбции пара затруднено, в порах размером более 20 мкм жидкость находится в капельно-жидком состоянии. Следовательно, при формировании структуры декоративно-акустических материалов нежелательным является наличие пор размером менее 0,2 мкм.

В качестве основных направлений снижения отрицательного воздействия гигроскопической влаги может быть выбрано введение гидрофобных добавок в состав композиции, объемная и поверхностная гидрофобизация материала.

Другим способом повышения водостойкости изделий является перевод водорастворимых составляющих в нерастворимое состояние. Достаточно эффективно этот способ может быть применен при использовании в составе связующего, например, натриевых солей карбоксиметилцеллюлозы (*Na*-КМЦ) при взаимодействии с сульфатом алюминия. При этом образуется нерастворимая соль карбоксиметилцеллюлозы.

Поведение декоративно-акустических материалов при повышенных температурах определяется:

- наличием температурных деформаций при температуре ниже температуры деструкции компонентов;
- наличием деструктивных процессов при температуре, соответствующей деструкции;
- возгоранием материала при воздействии открытого пламени.

Температурные деформации связаны или с увеличением линейных размеров при нагревании, или с их уменьшением. Значения коэффициентов температурных деформаций для наиболее часто встречающихся в производстве строительных материалов компонентов составляют  $(1-2) \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . При поризации минеральных композиций коэффициент линейного расширения смещается в сторону меньших значений ( $1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ). В литературе практически отсутствуют сравнительные данные, отражающие влияние размера и распределения пор по размерам, сообщающийся или замкнутый характер пористости на