

УДК 534.833.53

В.Э.АБРАКИТОВ, канд. техн. наук, К.В.ДАНОВА
Харьковская государственная академия городского хозяйства

ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЕ СВОЙСТВА

Рассматривается процесс прохождения звуковой волны в пористом материале. Анализируется эффективность поглощения упругих волн в зависимости от размеров пор.

Проблема борьбы с шумом в настоящее время является очень актуальной. Один из путей ее решения – создание звукопоглощающих облицовок из пористых материалов. Однако до сих пор отсутствует обоснование взаимосвязи между микроструктурой этих материалов и акустическими характеристиками, что затрудняет их подбор и использование. Первая попытка дать такое обоснование была предпринята в работе [1]. Ниже описывается механизм действия пористых звукопоглотителей.

Звуковые волны представляют собой гармонические колебания частиц упругой среды, т.е. относятся к так называемым упругим волнам. Передача звуковой энергии при этом осуществляется за счет соударений соседних частиц при колебаниях. Физический смысл явления состоит в том, что звуковые волны способны распространяться практически в любой среде, обладающей свойством упругости, т.е. в любом известном материале. В связи с этим борьба с шумом на пути его распространения является затруднительной.

Единственной преградой на пути звука может быть среда, лишенная упругости, т.е. вакуум. Эта идея реализована в целом ряде известных звукоизолирующих устройств (звукоизолирующих панелей), содержащих вакуумированную полость внутри твердого корпуса. Согласно [4] вакуум представляет собой состояние заключенного в сосуд газа с давлением значительно ниже атмосферного. Поведение его определяется соотношением между длиной свободного пробега молекул ℓ (средним расстоянием, проходимым частицей между двумя ее последовательными соударениями с другими частицами) и размером d , характерным для данного вакуумного сосуда или процесса. Причем для обеспечения коэффициента пропускания звука $\tau = 0$ необходимо наличие по меньшей мере среднего вакуума, когда выполняется условие $\ell = d$ (давления порядка $10^2 > P > 10^{-1}$ Па), при достижении которого прекращается прямая передача энергии звуковых колебаний от одной частицы упругой среды к другой между стенками сосуда. В ра-

боте [3] приведена формула для расчета длины свободного пробега молекул ℓ :

$$\ell = KT / (\pi\sqrt{2}D^2P),$$

где $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана; D – диаметр молекулы вещества, м; T – абсолютная температура, К.

Это теоретическое положение полностью подтверждается работой [2], где сказано, что если газ настолько разрежен, что выполняется условие $d \leq \ell$, то “молекулы непосредственно переносят импульс от одной пластинки к другой, ни с чем не сталкиваясь по дороге, и переносимый импульс пропорционален числу молекул, способных его переносить, и обращается в нуль при полном вакууме”. Как уже отмечалось, эти принципы используют при конструировании вакуумированных звукоизолирующих устройств.

Однако в работе [2] далее отмечается, что “состояние заключенного в сосуд газа (разреженный или плотный) – свойство скорее сосуда, чем газа. При нормальной атмосферной плотности свободный пробег $\ell \sim 2 \cdot 10^{-5}$ см. Следовательно, когда воздух обтекает самолет, он должен считаться плотным. Но если он течет в тонком капилляре радиуса $< 2 \cdot 10^{-5}$ см или в очень мелких порах специального фильтрующего вещества, тот же воздух ведет себя как разреженный”. Анализируя эти слова, можно прийти к выводу о том, что мелкие поры и капилляры обладают коэффициентом пропускания звука $\tau = 0$, т.е. звукоизолирующей способностью $R = +\infty$ дБ. Это обусловлено особенностями разреженных газов в отличие от плотных.

В то же время известны так называемые пористые и штучные (выполненные из пористых звукопоглощающих материалов) звукопоглотители. Поглощение звука такими материалами в работе [5] объясняется тем, что оно “происходит в результате перехода звуковой энергии в тепло вследствие преодоления внутреннего трения в порах”.

Высокие звукоизолирующие (звукопоглощение обеспечивает и звукоизоляцию) свойства мелкопористых звукопоглощающих материалов объясняются нами как результат наличия в них вакуумированных полостей, т.е. пор, наполненных воздухом при давлении, равном атмосферному, которые тем не менее из-за своих малых размеров ведут себя как микроскопические вакуумированные звукоизолирующие устройства при условии $\ell \geq d$, где d – диаметр поры.

По-видимому, звукопоглощающие свойства пористых материалов объясняются тем, что звуковая энергия, попадая в них, незначительно отражается от границы раздела сред “воздух – пористый мате-

риал” и проходит внутрь, испытывая при распространении по твердому материалу оболочек пор (волокам материала) звукопоглощение по указанным выше причинам. Внутри самих пор она переноситься не может, следовательно, отражается от их стенок, причем раздробляется в разных направлениях. Эти отражения многократны, так как количество пор очень большое. Таким образом, значительно увеличивается расстояние, проходимое волной внутри слоя пористого и волокнистого материала. Однако в отличие от известных звукоизолирующих панелей с вакуумированными полостями, имеющими макроскопические (заведомо соизмеримые с длиной звуковой волны слышимого диапазона) размеры, “экран” микропор не является сплошным и, в конце концов, звуковая волна “обтекает” их благодаря дифракции и выходит наружу, сильно ослабленная. Это видно на рис. 1, 2, 3, где схематически изображено прохождение звуковой волны через слой различных материалов, причем путь прохождения звуковой волны условно представлен в виде лучей, показывающих направление ее распространения. Формы пор выполнены в произвольном масштабе линейных размеров.

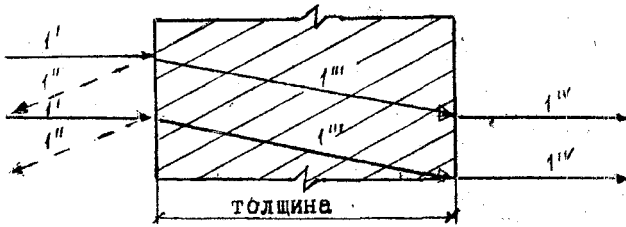


Рис. 1 – Прохождение звуковой волны через материал, лишенный пор:
 I^I - падающий луч; I^{II} - отраженный луч; I^{III} - преломленный луч внутри слоя звукопоглотителя; I^{IV} - луч, вышедший из слоя звукопоглотителя

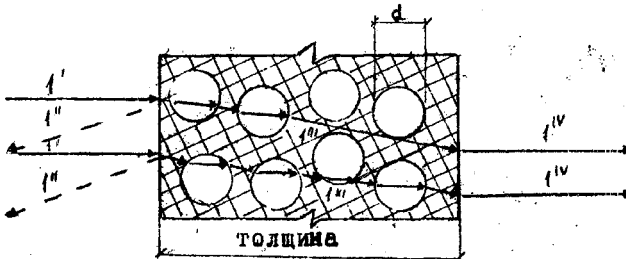


Рис. 2 – Прохождение звуковой волны через крупнопористый материал при условии, что $\ell < d$



Рис.3 – Прохождение звуковой волны через мелкопористый материал при условии, что $\ell > d$

Прямолинейность распространения падающего луча 1 при входе внутрь слоя в любом случае нарушается из-за характерных волновых явлений (в основном преломления) внутри слоя материала – луч $1'''$. При прохождении звуковой волны через материал ее энергия частично отражается – луч $1''$, частично пропускается внутрь материала – луч $1'''$, где испытывает поглощение, причем величина коэффициента поглощения α зависит не только от физико-химических свойств материала, но и от длины пути, который проходит звуковая волна внутри слоя вещества. Нетрудно видеть, что при равной толщине слоя путь прохождения звуковой волны через него будет больше для материала с крупными порами, чем для материала, вообще лишенного пор, например, металла (рис.1). Это объясняется тем, что звуковая энергия способна переноситься через крупные ($\ell < d$) поры, но при таком переносе звуковая волна многократно преломляется в каждой поре на границе раздела сред. Следовательно, крупнопористый материал обладает лучшими звукоизолирующими свойствами, чем вообще лишенный пор, что является общеизвестным фактом.

Если поры в материале настолько мелкие, что соблюдается условие $\ell > d$ (рис.3), согласно приведенным выше рассуждениям, они ведут себя как микроскопические вакуумированные звукоизолирующие устройства, т.е. звуковая энергия собственно через них не переносится. В отличие от макроскопических вакуумированных звукоизолирующих устройств (т.е. звукоизолирующих панелей и т.п. конструкций с вакуумированной полостью) поры не образуют сплошную непроницаемую преграду на пути распространения звука внутри содержащего их слоя вещества, и звуковые волны огибают их вследствие дифракции. Однако при этом значительно увеличивается путь, проходимый звуковой волной в слое вещества. Кроме того, звуковая волна отражается от стенок таких пор, так как не может в них проникнуть. В результате коэффициент поглощения α у мелкопористых материалов

может оказаться ниже, чем у крупнопористых, но зато у них намного ярче выражены звукоизолирующие свойства: коэффициент пропускания стремится к минимуму, коэффициент отражения – к максимуму. Вообще коэффициент поглощения таких материалов зависит от упругости каркаса, где находятся поры.

Вышеизложенные теоретические предпосылки могут служить основой для разработки конкретных противозвуковых устройств.

1. Абрамитов В. Э. Микроструктура пористых материалов и их звукопоглощающая способность // Тез. докл. XXVII науч.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников ХИИГХ. – Харьков, 1994. – С. 59-60.

2. Компанец А.С. Законы статистической физики. Ударные волны. Сверхплотное вещество. – М.: Наука, 1976.

3. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. – М.: Мир, 1985.

4. Политехнический словарь / Гл. ред. Аргаболевский И. А. – М.: Сов. энциклопедия, 1977.

5. Снижение шума на промышленных предприятиях / Ленинградский государственный проектный институт. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1972.

Получено 23.05.2002

УДК 338.244 : 62.503.55 : 621.371

А.Л.НЕФЕДОВА, канд. техн. наук, Н.Ю.ФИЛЬ, Л.И.НЕФЕДОВ, д-р техн. наук
Харьковская государственная академия городского хозяйства

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОЕКТОВ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ

Рассматриваются задачи анализа и оценки электромагнитной безопасности (ЭМБ) проектов жилой застройки. Дана геометрическая интерпретация метода построения зон комфорта и дискомфорта по ЭМБ. Описаны критерии оценки ЭМБ жилой застройки.

Для защиты населения от вредного влияния электромагнитных излучений (ЭМИ) необходимо провести экологическую оценку электромагнитной безопасности (ЭМБ) проектов жилой застройки (ЖЗ) [1].

Задачу оценки проектов жилой застройки по электромагнитной безопасности можно сформулировать следующим образом [2]. Известно множество источников ЭМИ $U = \{u_i\}$, $i = \overline{1, i'}$, которые могут находиться как в помещении $U_i \in \Pi$, $i = \overline{1, i''}$, $i'' \leq i'$, так и на территории жилой застройки $U_i \in T$, $i = \overline{i'' + 1, i'}$. Выбрано множество расчетных точек $X = \{x^j\}$, ($j = \overline{1, j'}$). Точки могут располагаться внутри