



УДК 699-844

DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-1-145-154

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ЗВУКОПОДАВЛЯЮЩЕЙ ЯЧЕИСТОЙ ПАНЕЛИ

А.Н. Скворцов

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва  
ул. Российская, д. 7, п.п. Ялга, Республика Мордовия, Россия, 430904

Одной из актуальных проблем современной экологии является исследование воздействия неблагоприятных факторов среды жизни на физическое развитие и здоровье населения. Статья посвящена решению актуальной задачи защиты населения от энергии шума производственных объектов. Производственные объекты повсеместно оснащены шумящим оборудованием. Если уровень энергии шума превышает ПДУ, то проводятся шумозащитные мероприятия. В наше время существует огромное разнообразие средств защиты от шумовой экспансии, одни из них пользуются спросом, другие менее известны. В статье предлагается использовать эффект звукоподавления для защиты от шума. Разработан новый звукозащитный материал — звукоподавляющая ячеистая панель. Данный материал должен содержать конструктивные элементы, обеспечивающие формирование встречных звуковых потоков с противофазой, что дает эффект поглощения звуковой энергии. Проведено моделирование звукозащитного материала под действием звуковых колебаний. Показана высокая эффективность предложенного материала.

**Ключевые слова:** шум, охрана труда, акустическое загрязнение, звукозащитный материал

### Введение

В промышленности и быту всегда существуют процессы, которые сопровождаются шумом. На ряде объектов, таких как объекты агропромышленного комплекса (АПК), нефтегазовой отрасли и т.д. проблема повышенного шума является неразрешенной.

Повышенный шум несет серьезные проблемы для здоровья. Во всем мире от воздействия шума страдают 50—70% населения развитых и развивающихся стран. В нашей стране данная проблема приобретает угрожающий характер. За последние годы от шума увеличилось число сердечно-сосудистых заболеваний, заболеваний органов слуха, желудочно-кишечного тракта и т.д. Главный санитарный врач г. Москвы в 2007 г. заявил, что шум влияет на продолжительность жизни, сокращая ее на 8—12 лет [1—4].

В отличие от США, стран ЕС и др., где отмечается ярко выраженная тенденция постепенного снижения уровня шума, воздействующего на население, в России замечен рост акустического загрязнения, особенно это выражено в крупных городах (мегаполисах).

Если рассматривать проблему с точки зрения адаптации человека к окружающей среде, то снижение слуха приводит к ограничению адаптации. Социальное развитие человека замедляется, ему сложно получить образование, осуществлять трудовую деятельность, он сталкивается со сложностями в семье и социуме в целом [5; 6].

Сегодня для защиты от шума используется огромное разнообразие звукозащитных материалов. Основная их часть работает по принципу естественного затухания звуковых волн при прохождении звука через материал. Широко применяются такие материалы, как базальтин, пеноплэкс, пенофол, минеральная вата. Они используются там, где громкость шума не столь высока, однако изоляция громкого шума требует увеличения толщины и веса материала, что уменьшает полезную площадь защищаемого помещения. В связи с этим изготовление материалов, имеющих легкий вес и малую толщину, актуально [7].

Эффективность и целесообразность выбора звукоизоляции должны удовлетворять следующим критериям:

- применяемые звукозащитные приспособления не должны изменять основные рабочие параметры изделия и его технологический процесс;
- геометрические формы звукозащитных приспособлений должны быть рациональными, а размеры минимальными;
- параметры звукоизоляции должны обеспечивать необходимый коэффициент звукоизоляции;
- технология изготовления приспособления должна быть проста, а затраты минимальны по сравнению со стоимостью изделия.

Добиться соответствия всем вышеперечисленным критериям достаточно сложно, но это стало возможно с применением эффекта подавления звуковой энергии. Этот эффект достигается сочетанием физических параметров листового материала, который должен быть таким, чтобы окружающая воздушная среда обеспечивала максимальное демпфирование колебаний листовых материалов. Как указывает акустик-практик Р. Тейлор, рабочая характеристика панельного или мембранного поглотителя очень сходна с характеристикой резонатора Гельмгольца [8; 9].

Вопросом разработки панелей облегченного типа занимались и занимаются многие отечественные ученые, в числе которых А.П. Тюрин, Д.В. Парахин, Н.И. Заборов, И.И. Иванов и др. [10–13]. В данной статье рассматривается новый звукозащитный материал, в основу работы которого положен эффект звукоподавления звуковой энергии, за счет которого увеличиваются звукозащитные свойства панели.

### **Основная часть**

В основу работы звукоподавляющей ячеистой панели положен эффект звукоподавления. Звукоподавляющая ячеистая панель содержит параллельный верхний, средний и нижний листы с установленными между ними ячейками пирамидообразной формы (рис. 1). Ячейки первого слоя соединены основаниями с верхним листом, вершины их соединены со средним листом в ребрах основания ячеек второго ряда, основания которых соединены со средним листом, а вершины с нижним листом [14].

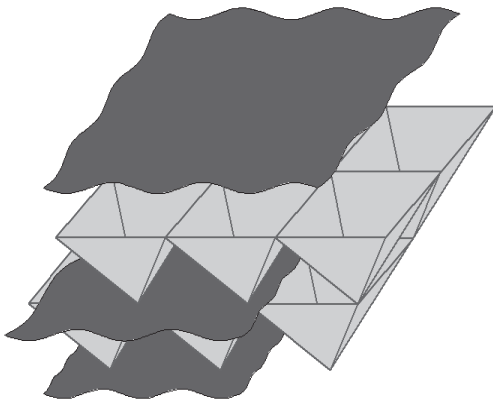
На рисунке 2 изображена упрощенная схема звукоподавляющей ячеистой панели, которая изготавливается из тонких листов, представляющих собой тонкие пластины. Габаритные размеры звукоподавляющей ячеистой панели представлены в табл. 1.

Таблица 1

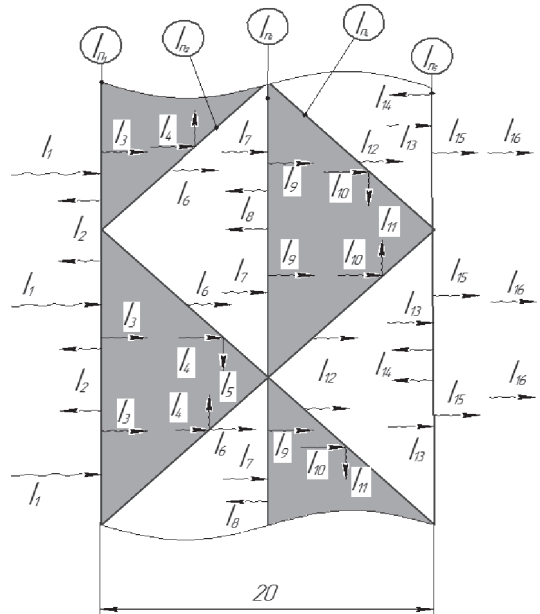
**Габаритные размеры звукоподавляющей ячеистой панели  
(Overall dimensions of the sound overwhelming cellular panel)**

Звукоподавляющая ячеистая панель (полистирол)			
Толщина панели, $h$ (м)	Толщина 1-го слоя панели, $h$ (м)	Шаг ячейки, $t$ (м)	Протяженность панели, $B$ (м)
0,02	0,01	0,06	0,5

Звукоподавляющая ячеистая панель изготавливается таким образом, что звук, идущий через нее, встречает на своем пути пять слоев тонкого листового материала, препятствующих его прохождению. Далее рассмотрим потоки звуковой энергии, идущей через материал.



**Рис. 1.** Звукоподавляющая ячеистая панель  
(Sound overwhelming cellular panel)



**Рис. 2.** Схема прохождения звука через звукоподавляющую ячеистую панель  
(The scheme of passing of a sound via the sound overwhelming cellular panel)

Обозначения потоков:  $I_1, I_4, I_7, I_{10}, I_{13}$  — потоки звуковой энергии, падающие на листы 1, 2, 3, 4, 5;  $I_2, I_5, I_8, I_{11}, I_{14}$  — отраженные потоки звуковой энергии от листов 1, 2, 3, 4, 5;  $I_3, I_6, I_9, I_{12}, I_{15}$  — потоки звуковой энергии, прошедшие через листы 1, 2, 3, 4, 5;  $I_{16}$  — поток звуковой энергии, ушедший с листа 5.

Для определения звукозащитных свойств рассматриваемого материала необходимо установить разницу между интенсивностью падающей звуковой энергии  $I_1$  к интенсивности звуковой энергии прошедшей через АЭ  $I_{15}$ .

Для этого необходимо произвести расчет звуковой энергии, которая проходит через пластины листового материала.

Звуковая энергия, падающая на пластину, частично отражается от нее, частично поглощается и частично проходит через нее, данное соотношение можно записать при помощи уравнение баланса звуковой энергии [15]

$$I_{\text{пад}} = I_{\text{погл}} + I_{\text{отр}} + I_{\text{пр}}, \quad (1)$$

где  $I_{\text{пад}}$  — интенсивность падающего звука;  $I_{\text{погл}}$  — интенсивность поглощенного звука;  $I_{\text{отр}}$  — интенсивность отраженного звука;  $I_{\text{пр}}$  — интенсивность прошедшего звука.

При диффузном падении звуковой волны применим преобразованную формулу Пэриса [16]

$$\tau = \frac{\ln(1+Q^2)}{Q^2}, \quad (2)$$

где  $Q = (\rho_1 \cdot \delta \cdot f) / (\rho \cdot c)$  — безразмерный комплекс;  $f = \omega / 2\pi$  — частота, Гц;  $\delta$  — толщина листового материала, кг/м<sup>2</sup>;  $\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  — скорость звука в воздухе, м/с.

Отношение интенсивности прошедшего звука к интенсивности падающего звука называется коэффициентом звукопроводности [15]

$$\tau = I_{\text{пр}} / I_{\text{пад}} \text{ или } I_{\text{пр}} = I_{\text{пад}} \cdot \tau. \quad (3)$$

Звуковая энергия, падающая на пластину, заставляет ее колебаться. Это приводит к демпфированию окружающим воздухом и переходом части звуковой энергии в тепловую. При этих условиях будет учитываться потеря звуковой энергии пропорциональна теоретическому количеству прошедшей энергии, использует коэффициент звукопоглощения [1; 3]

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\left(\frac{4}{3}\alpha + \frac{2}{3}Q\right)^2}}} = \frac{I_v}{I_{\text{пр}}} \text{ или } I_v = I_{\text{пр}} \cdot \varepsilon, \quad (4)$$

где  $I_v$  — энергия диссипации;  $\alpha$  — коэффициент звукопоглощения материала, м/с;  $Q, f, \delta, \rho, c$  — тоже, что в формуле (4).

Волновые процессы в материале рассмотрим с использованием интенсивности потока звуковой энергии. Падающая звуковая энергия  $I_1$  на лист 1.

Отраженный поток  $I_2$  от листа 1 определяем по формуле

$$I_2 = I_1 - I_3 = I_1 - I_1 \cdot \tau = I_1(1 - \tau), \quad (5)$$

где  $I_3 = I_1 \cdot \tau$  — звуковая энергия прошедшая через лист 1, берем из формулы (3).

Потеря  $I_{n_1}$  на демпфирование окружающим воздухом будет рассчитываться по формуле (4):

$$I_{n_1} = I_3 \cdot \varepsilon \text{ отсюда } I_{n_1} = I_1 \cdot \tau \cdot \varepsilon, \quad (6)$$

где  $\varepsilon$  — коэффициент звукопоглощения из формулы (4).

Определим интенсивность звукового потока падающего на пластину 2, пользуясь формулами (6), (5):

$$I_4 = I_3 - I_{n_1} = I_1 \cdot \tau - I_1 \cdot \tau \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau (1 - \varepsilon). \quad (7)$$

Интенсивность звукового потока, отраженного от пластины 2, определяем, пользуясь формулами (5), (9):

$$I_5 = I_4 - I_6 = I_1 \cdot \tau (1 - \varepsilon) - I_1 \cdot \tau^2 (1 - \varepsilon) = I_1 \cdot \tau^2 (1 - \varepsilon). \quad (8)$$

Звуковой поток, прошедший через лист 2, будет определяться с использованием формул (3):

$$I_6 = I_4 \cdot \tau = I_1 \cdot \tau^2 (1 - \varepsilon). \quad (9)$$

Потеря на демпфирование окружающим воздухом рассчитаем по формуле (6):

$$I_{n_2} = I_6 \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^2 (1 - \varepsilon) \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^2 (1 - \varepsilon). \quad (10)$$

Определим интенсивность звукового потока, падающего на лист 3, пользуясь выражениями (9), (10):

$$I_7 = I_6 - I_{n_2} = I_1 \cdot \tau^2 (1 - \varepsilon) - I_1 \cdot \tau^2 (1 - \varepsilon) \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^2 (1 - \varepsilon)^2. \quad (11)$$

Интенсивность звукового потока, отраженного от листа 3, определяем, пользуясь формулами (11), (14):

$$I_8 = I_7 - I_9 = I_1 \cdot \tau^2 (1 - \varepsilon)^2 - I_1 \cdot \tau^3 (1 - \varepsilon)^2 = I_1 \cdot \tau^3 (1 - \varepsilon)^2. \quad (12)$$

Потеря на демпфирование окружающим воздухом рассчитаем по формуле (6):

$$I_{n_3} = I_9 \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^3 (1 - \varepsilon)^2 \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^3 (1 - \varepsilon)^2 \cdot \varepsilon. \quad (13)$$

Звуковой поток, прошедший через лист 3, будем определять, пользуясь выражением (3):

$$I_9 = I_7 \cdot \tau = I_1 \cdot \tau^2 (1 - \varepsilon)^2 \cdot \tau = I_1 \cdot \tau^3 (1 - \varepsilon)^2. \quad (14)$$

Определим интенсивность звукового потока, падающего на лист 4, пользуясь формулами (13), (14):

$$I_{10} = I_9 - I_{n_3} = I_1 \cdot \tau^3 (1 - \varepsilon)^2 - I_1 \cdot \tau^3 (1 - \varepsilon)^2 \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^3 (1 - \varepsilon)^3. \quad (15)$$

Интенсивность звукового потока, отраженного от листа 4, определяем из соотношения

$$I_{11} = I_{10} - I_{12} = I_1 \cdot \tau^3 (1 - \varepsilon)^3 - I_1 \cdot \tau^4 (1 - \varepsilon)^2 = I_1 \cdot \tau^4 (1 - \varepsilon)^3. \quad (16)$$

Звуковой поток, прошедший через лист 4, будет рассчитываться с применением формулы (3):

$$I_{12} = I_{10} \cdot \tau = I_1 \cdot \tau^3 (1 - \varepsilon)^3 \cdot \tau = I_1 \cdot \tau^4 (1 - \varepsilon)^3. \quad (17)$$

Потеря на демпфирование окружающим воздухом вычисляется с использованием выражения (6):

$$I_{n_4} = I_{12} \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^4 (1 - \varepsilon)^3 \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^4 (1 - \varepsilon)^3 \cdot \varepsilon. \quad (18)$$

Определим интенсивность звукового потока, падающего на пластину 5, пользуясь формулами (13), (14):

$$I_{13} = I_{12} - I_{n_4} = I_1 \cdot \tau^4 (1 - \varepsilon)^3 - I_1 \cdot \tau^4 (1 - \varepsilon)^3 \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^4 (1 - \varepsilon)^4. \quad (19)$$

Интенсивность звукового потока, отраженного от листа 5, определяем из соотношений (15), (17):

$$I_{14} = I_{13} - I_{15} = I_1 \cdot \tau^4 (1 - \varepsilon)^4 - I_1 \cdot \tau^5 (1 - \varepsilon)^4 = I_1 \cdot \tau^5 (1 - \varepsilon)^4. \quad (20)$$

Звуковой поток, прошедший через лист 5, будет рассчитываться с применением формулы (3):

$$I_{15} = I_{13} \cdot \tau = I_1 \cdot \tau^4 (1 - \varepsilon)^4 \cdot \tau = I_1 \cdot \tau^5 (1 - \varepsilon)^4. \quad (21)$$

Потеря на демпфирование окружающим воздухом в листе 5 составляет

$$I_{n_5} = I_{15} \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^5 (1 - \varepsilon)^4 \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^5 (1 - \varepsilon)^4 \cdot \varepsilon. \quad (22)$$

Поток, уходящий с листа 5, имеет интенсивность (17), (18):

$$I_{16} = I_{15} - I_{n_5} = I_1 \cdot \tau^5 (1 - \varepsilon)^4 - I_1 \cdot \tau^5 (1 - \varepsilon)^4 \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^5 (1 - \varepsilon)^5. \quad (23)$$

Подстановка полученных значений в формулу (3) позволяет определить коэффициент звукопроницаемости звукозащитного материала:

$$\tau = \frac{I_{16}}{I_1} = \frac{I_1 \cdot \tau^5 (1 - \varepsilon)^5}{I_1} = \tau^5 (1 - \varepsilon)^5. \quad (24)$$

Звукоизоляция звукоподавляющей ячеистой панели вычисляется по (20) [15]:

$$\text{ЗИ} = 10 \lg \left( \frac{1}{\tau} \right). \quad (25)$$

Подставляем полученные значения в формулу (20):

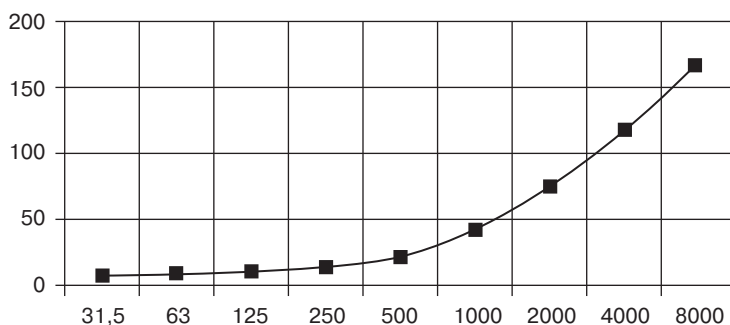
$$\text{ЗИ} = 10 \lg \left( \frac{1}{\tau^5(1-\varepsilon)^5} \right) = -50 \lg \left( \frac{\ln(1+Q^2)}{Q^2} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\left( \frac{4}{3}\alpha + \frac{2}{3}Q \right)^2}}} \right) \right). \quad (26)$$

Исходные показатели по материалу, из которого может быть изготовлена звукоподавляющая ячеистая панель, приведены в табл. 2. С учетом данных выражения (26) произведены расчеты звукоизоляции данной панели, результаты показаны на рис. 3.

Таблица 2

**Исходные данные для расчета ЗИ звукоподавляющей ячеистой панели  
(Initial data for the calculation of GI zvukopodavlyayushey mesh panel)**

ЗПАЭ материал	Показатель				
	α коэффициент звукопоглощения материала	δ (м) толщина листового материала	ρ <sub>1</sub> (кг/м <sup>3</sup> ) плотность листового материала	ρ (кг/м <sup>3</sup> ) при 20 °С	с (м/с) при 20 °С скорость звука
полистирол	0.2	0.0005	1 250	1,225	343.1



**Рис. 3.** Теоретические значения звукоизоляции звукоподавляющей ячеистой панели  
(Theoretical values of sound insulation of the sound overwhelming cellular panel)

### Выводы

В спектре 500...2000 Гц наблюдается снижение уровня шума от 25—83 дБ. Простота конструкции одной ячейки обеспечивает легкость в ее повторяемости, поэтому является перспективным использование звукозащитной панели, основанной на использовании многослойной ячеистой структуры.

Такую панель предполагается изготавливать из полимерных упругих тонких листов, которые обеспечат легкость в изготовлении. Звукоподавляющая ячеистая панель позволит снизить шум при своей незначительной толщине — порядка нескольких сантиметров.

Обладая небольшой толщиной и высокими звукоизолирующими свойствами, описанная панель может быть использована там, где в условиях ограниченного пространства необходимо обеспечить достаточное снижение шума. Звукоподавляющая ячеистая панель на основе эффекта подавления звуковых волн может найти применение в защитных конструкциях для персонала на производственных объектах или при изготовлении индивидуальных защитных кожухов для производственного оборудования. Таким образом, данная панель расширит спектр решений по звукоизоляции и улучшит условия работы и жизни человека.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Афанасьева Р. Ф.* Сочетанное действие факторов производственной и окружающей среды на организм человека (аналитический обзор) // Бюллетень научного совета «Медико-экологические проблемы работающих». 2005. № 2. С. 58–70.
- [2] *Дмитриев Н.С., Таварткиладзе Г.А.* Современные проблемы физиологии и патологии слуха // I Национальный конгресс аудиологов России и V Международный симпозиум. Суздаль, 2004. С. 1–16.
- [3] *Григорьев И.И.* Обеспечение травмобезопасности при воздействии импульсного шума высокой интенсивности в условиях реверберации: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2007.
- [4] *Девисилов В.А., Севастьянов Б.В., Чаузов А.С., Тюрин А.П., Лисина Е.Б.* Аттестация рабочих мест: учеб. пособие. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2009.
- [5] *Девисилов В.А., Севастьянов Б.В., Фефилов С.С., Тюрин А.П. и др.* Экономика безопасности труда: учеб. пособие. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2009.
- [6] *Cox, T.J.* Acoustic absorbers and diffusers; theory, design and application / T.J. Cox, P. D'Antonio. New York: Taylor and Francis, 2009.
- [7] *Тейлор Р.* Шум. / пер. с англ. / под ред. М.А. Исаковича. М.: Мир, 1978.
- [8] *Осипов Г.Л., Бобылев В.Н., Борисов Л.А.* Звукоизоляция и звукопоглощение: учеб. пособие для студентов вузов. М.: АСТ: Астрель, 2004.
- [9] *Савельев А.П., Скворцов А.Н.* Звукоподавляющий облегченный акустический экран // Охрана и экономика труда. 2015. № 2 (19). С. 56–61.
- [10] *Тюрин А.П., Севастьянов Б.В., Парахин Д.В.* Методы определения характеристик звукопоглощения стеновых материалов // Безопасность в техносфере. 2011. № 2. С. 6–11.
- [11] *Тюрин А.П., Парахин Д.В., Севастьянов Б.В.* Научное обоснование совершенствования средств коллективной защиты испытателей вооружения от воздействия импульсного шума // Вестник ИжГТУ. 2008. № 3. С. 25–28.
- [12] *Тюрин А.П., Севастьянов Б.В.* Подходы к исследованию звукопоглощения закрытых резонаторных панелей в условиях импульсного шума // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2009. № 2. С. 80–82.
- [13] Патент на полезную модель RU №80895 РФ. Дата регистрации: 13.10.2008 г. А.П. Тюрин, Б.В. Севастьянов, Д.В. Парахин, С.А. Пигалев. Шумозащитная панель Опубликовано 27.02.2009, Бюл. № 6.
- [14] Патент на полезную модель RU № 158599 РФ. Дата регистрации: 19.03. 2015 г. Савельев А.П., Скворцов А.Н. Звукоподавляющая ячеистая панель: Опубликовано 20.01.2016.
- [15] *Иванов Н.И.* Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. М.: Логос, 2008.
- [16] *Мурзинов П.В.* Выбор листового материала для звукоизолирующих облегченных структурированных панелей // Экология. Риск. Безопасность: материалы Международной научной практической конференции (20–21 октября 2010 г.). Курган: изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. С. 149–150.

© Скворцов А.Н., 2017



**История статьи:**

Дата поступления в редакцию: 21 апреля 2016

Дата принятия к печати: 20 октября 2016

**Для цитирования:**

Скворцов А.Н. Теоретический расчет звукоизоляции звукоподавляющей ячеистой панели // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2017. Т. 25. № 1. С. 145—154.

**Сведения об авторе:**

Скворцов Александр Николаевич, аспирант, преподаватель Института механики и энергетики, кафедры безопасности жизнедеятельности Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва. Контактная информация: e-mail: squortsow.sasha@yandex.ru

## TEORETICHESKY CALCULATION OF ACOUSTIC INSULATION ZVUKOPODAVLYAYUSCHEY HONEYCOMB PANELS

A.N. Skvortsov

Mordovia State University N.P. Ogarev

*Russian str., 7, working village Yalga, Republic of Mordovia, Russia, 430904*

Research of influence of adverse factors of the environment of life on physical development and population health is one of actual problems of modern ecology. The article is devoted to the solution of actual problems of protection of the population from noise energies production facilities. If the noise energies level from the object in a residential area exceeds the permissible levels (RC), the sound events. Nowadays there is a great variety of means of protection from sound expansion. Many of them are in popular demand, others are less known. The article proposed use of the effect zvukopodavleniya for protection against noise. A new sound dampening material “Zvukopodavlyayusche mesh panel”. This material must contain structural elements, ensuring the formation of audio streams colliding with antiphase, thereby obtaining the effect of absorbing sound energy. The simulation of sound dampening material under the action of sound vibrations. The high efficiency of the material.

**Key words:** noise, labor protection, acoustic pollution, sound dampening material

### REFERENCES

- [1] Afanasyeva R.F. Interaction of factors of production and the environment on the human body (Analytical Review). *Bulletin of the Scientific Council of the “Medical and ecological problems of working”*. 2005. 2. 58—70. (In Russ)
- [2] Dmitriev N.S., Tavartkiladze G.A. Current problems of physiology and pathology of hearing. 1st National Congress of Russian audiologists and 5th International Symposium. Suzdal, 2004. 1—16. (In Russ)
- [3] Grigorov I.I. Providing risk of injury if a pulsed high intensity noise in a reverberation: Author: diss. ... cand. tehn. Sciences. St. Petersburg, 2007. (In Russ)
- [4] Devisilov V.A., Sevastyanov B.V., Ceausu A.C., Tyurin A.P., Lisin E.B. Assessment of workplaces. Textbook. Izhevsk: Publishing House of the Izhevsk State Technical University, 2009. (In Russ)

- [5] Devisilov V.A., Sevastyanov B.V., Fefilov S.S., Tyurin A.P., etc. *Safety Economy*. Textbook, Izhevsk, Izhevsk State Technical University Publishing House, 2009. (In Russ)
- [6] Cox T.J., D'Antonio P. *Acoustic absorbers and diffusers; theory, design and application*. New York: Taylor and Francis; 2009.
- [7] Taylor R. *Noise*. Transl. from English. Ed. M.A. Isakovich. M.: Mir, 1978. (In Russ)
- [8] Osipov G.L., Bobylev V.N., Borisov L.A. *Sound insulation and sound absorption*. Proc. allowance for university students. M.: ООО "Izdatelstvo AST" LLC "Publishing Astrel", 2004.
- [9] Savelyev A.P., Skvortsov A.N. *Zvukopodavlyayuschy lightweight baffle*. *Security and Labour Economics*. 2015. № 2 (19). 56—61. (In Russ)
- [10] Tyurin A.P., Sevastyanov B.V., Parahin D.V. *Methods for determining the characteristics of sound absorption wall materials*. *Safety in Technosphere*. 2011. 2. 6—11.
- [11] Tyurin A.P., Parahin D.V., Sevastyanov B.V. *Scientific substantiation of perfection of means of collective protection from the effects of weapons of test impulse noise*. *Bulletin IzhSTU*. 2008. 3. 25—28. (In Russ)
- [12] Tyurin A.P., Sevastyanov B.V. *Approaches to the study of sound absorption panels closed resonator under impulse noise*. *Bulletin of KSTU. AN Tupolev*. 2009. 2. 80—82. In Russ)
- [13] Utility model patent RU №80895 RF. Registration date: 13.10. 2008. Tyurin A.P., Sevastyanov B.V., Parahin D.V., Pigalev S.A. *Noise protection panel*. Published on 27.02.2009, Bull. Number 6.
- [14] Utility model patent number 158599 RU Russian Federation. Registration date: 19.03. 2015. Savelev A.P., Skvortsov A.N. *Zvukopodavlyayuschaya mesh panel*. Published on 20.01.2016.
- [15] Ivanov N.I. *Engineering acoustics. Theory and practice of noise control*. M.: Logos, 2008. (In Russ)
- [16] Murzinov P.V. Selection of the sheet material for sound insulation of lightweight panels structured. *Ecology. Risk. Safety: Proceedings of the International scientific practical conference (20-21 October 2010)*. Kurgan: Publishing House of the Kurgan State. University Press, 2010. 149—150. (In Russ)

**Article history:**

Received: 21 April 2016

Revised: 20 October 2016

Accepted: 10 January 2016

**For citation:**

Skvortsov A.N. (2017) Teoretichesky calculation of acoustic insulation zvukopodavlyayushey honeycomb panels. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (1), 145—154.

**Bio Note:**

Skvortsov A.N., PhD student, Institute of Mechanics and Energy, Life Safety Department. «OgarevMordovia State University». *Contact information*: e-mail: squortsow.sasha@yandex.ru