

УДК: 628.517.2
OECD: 01.03.AA

Облегченные звукозащитные панели

Мурзинов В.Л.^{1*}, Мурзинов П.В.², Мурзинов Ю.В.², Попов С.В.³

¹ Д.т.н., профессор, ³ Аспирант

^{1,3} Кафедра «Техносферная и пожарная безопасность»

² К.т.н., доцент, кафедра «Электропривод, автоматика и управление
в технических системах»

^{1,2,3} Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, РФ

Аннотация

Облегченные звукозащитные панели созданы на основе анализа взаимодействия тонколистовых материалов и воздуха окружающей среды. Анализ показал, что тонко листовый материал обладает повышенной способностью к демпфированию своих колебаний окружающим воздухом. Эта способность тонко листовых материалов была положена в основу разработки конструкции облегченной структурированной звукоподавляющей панели. Представлена конструктивная схема облегченной структурированной звукоподавляющей панели. Дано обоснование с позиции лучевой теории распространения звуковых потоков внутри конструкции. Показаны отдельные конструктивные элементы и этапы их сборки в звукоподавляющую облегченную структурированную панель. Указаны листовые материалы для изготовления этих панелей. Выполнен сравнительный анализ по эффективности звукоизоляции разработанных панелей и современных звукозащитных материалов. Анализ показал преобладающую эффективность звукоподавляющих облегченных структурированных панелей.

Ключевые слова: звукозащитные конструкции, звукозащитные материалы, коэффициент эффективности звукоизоляции, демпфирование, поверхностная плотность.

Lightweight sound-proof panels

Murzinov V.L.^{1}, Murzinov P.V.², Murzinov Yu.V.³, Popov S.V.³*

¹ DSc, professor, ³ Post-graduate student

^{1,3} The department of Technosphere and Fire Safety

² PhD, associate professor, the department of Electric Drive, Automation and Control in Technical Systems

^{1,2,3} Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Abstract

Lightweight sound-proof panels are created based on the analysis of the interaction of thin-sheet materials and ambient air. The analysis showed that the thin-sheet material has an increased ability to dampen its vibrations by the surrounding air. This ability of thin-sheet materials was the basis for the design of a lightweight structured sound-canceling panel. The design scheme of a lightweight structured sound-canceling panel is presented. The justification is given from the point of view of the ray theory of propagation of sound flows inside the structure. The individual structural elements and the stages of their assembly into a sound-suppressing lightweight structured panel are shown. The sheet materials for the manufacture of these panels are indicated. A comparative analysis of the effectiveness of sound insulation of the developed panels and modern sound-proof materials is performed. The analysis showed the predominant effectiveness of sound-suppressing lightweight structured panels.

Keywords: sound-proof structures, sound-proof materials, sound insulation efficiency coefficient, damping, surface density.

Введение

В настоящее время защита от шума применяется во многих областях человеческой деятельности. Наибольшее распространение получил способ защиты на путях его распространения применением звукозащитных панелей[1, 2]. Звукозащитные панели имеют разнообразное конструктивное исполнение, обусловленное видом источника шума[3]. Каждая звукозащитная панель обладает определенными акустическими характеристиками – это звукоизоляция, коэффициент звукопоглощения, поверхностная плотность[4], которая определяется как масса квадратного метра площади панели. Поверхностная плотность очень важный показатель. Он учитывается при расчете полезной нагрузки для самолетов, автомобилей[5], Кроме того, поверхностная плотность звукозащитных панелей учитывается при проектировании космических аппаратов[6].

1. Разработка облегченной звукозащитной панели

Одним из авторов данной статьи была разработана конструкции панели ЗОСП, которая расширяется как звукоподавляющая облегченная структурированная панель. Эффективность панели ЗОСП подтверждено патентом[7] (рис.1). Аналитическая формула собственной звукоизоляции панели ЗОСП получена в работе[8]. Особенность этой панели в том, что она очень легкая. Поверхностная плотность составляет менее полутора килограмм одного квадратного метра её поверхности. Панель ЗОСП была применена в производственных условиях для защиты от шума пневмоконвейеров с воздушной прослойкой, которая является мощным источником аэродинамического шума[9, 10]. Панели ЗОСП помогли создать комфортные условия работы в проектных организациях. Кроме того, предприятие ООО Холдинговая компания «Мебель Черноземья» провела апробацию панелей ЗОСП в виде акустических экранов для защиты от шума на участках обработки мебельных деталей. Измерения показали ослабление шума на 5 дБА. Все измерения подтверждены актами испытаний.

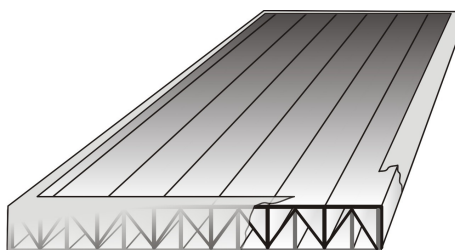


Рис. 1. Внешний вид панели ЗОСП

Панель ЗОСП изготавливается методом сборки из отдельных элементов. Эти элементы показаны на рис. 2, рис. 3 и рис. 4. На этих рисунках показаны сечения элементов 1, которые имеют выступы 2. Расположение выступов 2 определяется шагом t . Листы 1 при сборке направлены навстречу друг другу выступами 2. Между этими листами вставляется гофрированная вставка, сечение которой показано на рис. 3. Схема соединения листов 1 и гофрированной вставки показаны на рис. 4а. Окончательно сечение панели ЗОСП изображено на рис. 4б. Фиксация конструкции панели ЗОСП осуществляется клеевой лентой, которая располагается по периметру панели. Вершины выступов и гофрированной вставки прижаты друг к другу достаточно плотно.

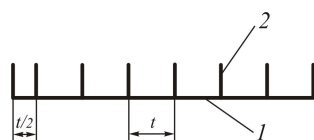


Рис. 2. Первый элемент ЗОСП – лист 1 с выступами 2



Рис. 3. Второй элемент ЗОСП – гофрированная вставка

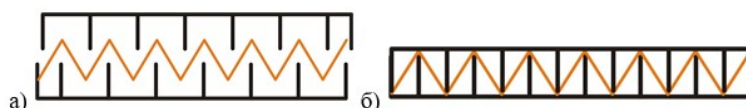


Рис. 4. Состояние элементов ЗОСП перед окончательной сборкой. а) – подготовка элементов перед сборкой; б) – поперечное сечение панели ЗОСП в сборе

Такое соединение элементов панели ЗОСП создает устойчивую пространственную конструкцию. Элементы конструкции обладают свойством демпфировать звуковые потоки окружающего воздуха. Демпфирование происходит за счет того, что внутри панели листы располагаются под определенным углом по отношению друг к другу. Это приводит к тому, что возникают потоки с противофазой и направленные навстречу друг другу. Происходит взаимное гашение звуковых потоков.

Известно, что колебания тонких листовых материалов в воздушной среде демпфируются окружающим воздухом. Поэтому целесообразно использовать тонко листовый материал. Для изготовления панелей ЗОСП предлагается использовать листовые материалы, показанные в табл. 1 [11]. Кроме того, существуют подходы, которые позволяют строить конструкции, обеспечивающие звукозащитные свойства резонаторным панелям [12, 13].

Таблица 1

Характеристики листовых материалов для изготовления панелей ЗОСП

Материал	M_p – поверхностная плотность листового материала, кг/м ²	δ – толщина листового материала, мм	η – коэффициент потерь листового материала
Бумага	0,08	0,07	0,08
Ватман	0,2	0,26	0,09
Картон DKF 5	1,2	3,2	0,06
Картон КАОН-1	3	3	0,12
Шпон (сосна)	0,51	1	0,02
Акриловый лист PALGLAS	4,76	4	0,01
ПВХ вспененный PALFOAM	0,94	2	0,02
Поликарбонатный лист PALSUN	3,6	3	0,01

2. Экспериментальное определение звукоизоляции панели ЗОСП

Для определения звукоизоляции панелей ЗОСП использовалась схема, показанная на рис. 5. Схема включает генератор 1, заглушенную камеру 2, источник звука 3, исследуемую конструкцию панели ЗОСП 4, микрофон 5, шумомер 6. Генератор 1 является генератором «белого шума». Сама заглушенная камера 2 имеет звукопоглощающий слой, находящийся на внутренней поверхности стенок камеры, и звукоизолирующий слой, находящийся на наружной поверхности камеры. Кроме того, заглушенная камера 2 образована двумя полукамерами, что обеспечивает удобство установки панели ЗОСП. Между полукамерами устанавливалась панель ЗОСП. Генератор 1 посылал электрический сигнал на источник звука 3, который выдавал звуковой поток в виде «белого шума». В качестве источника звука 3 использовался высококачественный динамик. Звуковой поток «белого шума» от источника 3 воспринимался микрофоном 5, соединенным с шумомером 6. В качестве шумомера использовался прецизионный шумомер «ОКТАВА – 110А». Динамик 3 и микрофон 5 располагались в заглушенной камере 2. Высота расположения источника звука 3 и микрофона 5 были одинаковыми относительно стенок заглушенной камеры 2.

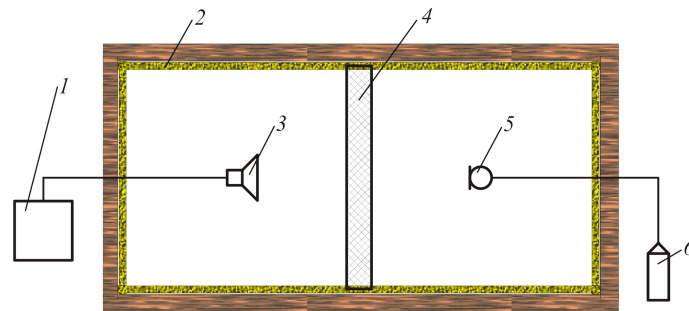


Рис. 5. Схема экспериментальной установки для определения величины звукоизоляции панелей ЗОСП. 1 – генератор. 2 – заглушенная камера, образованная из двух полукамер. 3 – источник звука, высококачественный динамик. 4 – исследуемая конструкция панели ЗОСП. 5 – микрофон. 6 – шумомер «ОКТАВА – 110А»

Экспериментальные исследования звукоизоляции проводились по следующей схеме. Вначале проводилось измерение звукового давления от источника звука при отсутствии панели ЗОСП. Затем устанавливалась панель ЗОСП и проводилось измерение звукового давления. После измерений выполнялось нахождение разности уровня звукового давления при отсутствии панели ЗОСП и звукового давления при наличии панели ЗОСП. Обработанные результаты измерений показаны в табл. 2.

Комплексная оценка эффективности звукоизоляции для панелей ЗОСП и современных звукоизоляционных материалов и конструкций проводилась с использованием комплексного коэффициента, который учитывает и величину звукоизоляции, и величину поверхностной плотности.

Таблица 2
Характеристики панелей ЗОСП

Панель	Характеристики		Уровень звука в источнике, дБА	Частота, Гц										Частотная коррекция	
	Толщина, мм	M_p – поверхностная плотность, кг/м ³		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	K_R – коэффициент	R – собственная звуо-изоляция, дБ
				Звукоизоляция ΔL , дБ											
30СП-6	16	0,428	78,5	5,3	2,3	1,1	3,7	3,2	9,3	7,0	16,7	24,2	30,4	23,0	10
30СП-7	16	0,479	89,6	2,0	0,3	0,3	2,1	3,5	7,4	8,9	14,1	19,2	24,5	22,6	11
30СП-4	30	0,754	82,1	133	2,2	1,1	6,2	6,2	9,9	14,0	28,4	27,75	38,7	22,1	17
30СП-5	16	0,481	70,1	1,4	0,5	2,7	5,4	4,2	8,3	6,0	16,8	24,3	29,0	19,3	9
30СП-5 /75	16	0,514	78,1	3,0	3,6	2,5	4,2	5,3	6,5	4,8	16,7	20,2	35,7	18,1	9
30СП-5 /60	16	0,474	59,7	16,3	4,5	5,7	5,1	7,2	5,8	4,0	14,5	25,8	23,3	18,0	8
30СП-1	2x15	1,145	68,8	1,5	3,5	7,7	9,7	8,4	13,3	13,0	28,6	37,1	27,7	18,0	20
30СП-3 /2	2x15	1,423	83,6	4,3	6,9	4,6	10,2	7,8	13,9	16,1	27,0	38,7	42,2	15,6	22
30СП-5 /45	16	0,575	49,2	0,1	2,0	6,4	9,1	2,4	7,3	4,0	13,7	23,2	12,8	15,1	8
30СП-6 /45	16	0,628	78,5	9,0	3,2	1,2	4,6	4,3	9,1	7,7	10,0	26,4	27,0	14,5	9

Этот коэффициент эффективности звукоизоляции, впервые предложенный авторами, представляет собой отношение собственной звукоизоляции панели к её поверхностной плотности [14]

$$K_R = \frac{R}{M_p}. \quad (1)$$

Чем больше значение этого показателя, тем выше эффективность звукозащитных свойств материалов и конструкций.

3. Сравнительный анализ панелей ЗОСП и современных материалов

В статье [11] показаны характеристики современных звукоизоляционных материалов. В таблице 3 показаны конструкции звукоизолирующих панелей, которые имеют жесткий каркас, наполненный мягким материалом с повышенным показателем звукоизоляции. В таблице 4 представлены материалы с жесткой структурой, как правило, это изотропный материал.

Для наглядного представления и сравнения эффективности звукоизоляции показаны на рис. 6, на котором изображены показатели собственной звукоизоляции различных конструкций и материалов. На рис. 6 изображен график, по оси ординат которого отложены значения коэффициента эффективности звукоизоляции из таблицы 2, таблицы 3 и таблицы 4. По оси абсцисс отложен порядковый номер образца

звукоизолирующей конструкции или панелей ЗОСП. График наглядно показывает преобладание эффективности звукоизоляции панелей ЗОСП над современными звукоизоляционными материалами. Даже сотовый поликарбонат оказался несколько хуже по показателям эффективности звукоизоляции. Однако по абсолютным значениям собственной звукоизоляции сотовый поликарбонат сравним с панелью ЗОСП под № 8 (табл. 2).

Таблица 3

Характеристики звукозащитных материалов с жёстким каркасом и мягким наполнителем

№ образца	Название материала	M_p – поверхностная плотность, кг/м ²	R – собственная звукоизоляция, дБ	K_R – коэф-т эффективности звукоизоляции
1.	Обшивка БСТВ-30/ металлический лист	4,86	56	11,6
2.	Фанера/ПХВ-1-85/ фанера	3,42	35	10,2
3.	Павинол ПА-4/ ППУ-Э-35-0,8А/ фанера/ПХВ-1-85/ фанера/ППУ-Э-35-0,8А/ павинол ПА-4	4,10	40	9,7
4.	Металлический лист/ ППУ-30-8Н-60	5,40	45	8,3
5.	Marine Firebatts 130/ стальной лист	33,00	56	1,7
6.	Плита ДВП/базальтовое волокно/ плита ДВП	51,00	60	1,1
7.	Термопанель ПСБ	30,00	31	1,0
8.	Слоистая виброакустическая панель СВАП	29,20	13	0,4
9.	Звукоизоляционная панельная система ЗИПС	36,00	11	0,3

Таблица 4

Характеристики звукозащитных материалов с жёсткой структурой

№ образца	Название материала	M_p – поверхностная плотность, кг/м ²	R – собственная звукоизоляция, дБ	K_R – коэф-т эффективности звукоизоляции
1.	Сотовый поликарбонат	1,10	22	20,4
2.	Листовой монолитный поликарбонат	4,80	27	5,6
3.	Пенопласт	2,50	9	3,8
4.	ДСтП	11,70	33	2,8
5.	Фанера	9,60	12	1,2
6.	Сталь	15,60	18	1,1

Таблица 4 (Продолжение)

№ образца	Название материала	M_p – поверхностная плотность, кг/м ²	R – собственная звукоизоляция, дБ	K_R – коэффициент эффективности звукоизоляции
7.	Кирпичная стена	252,00	60	0,2
8.	Железобетонный блок	364,00	55	0,1

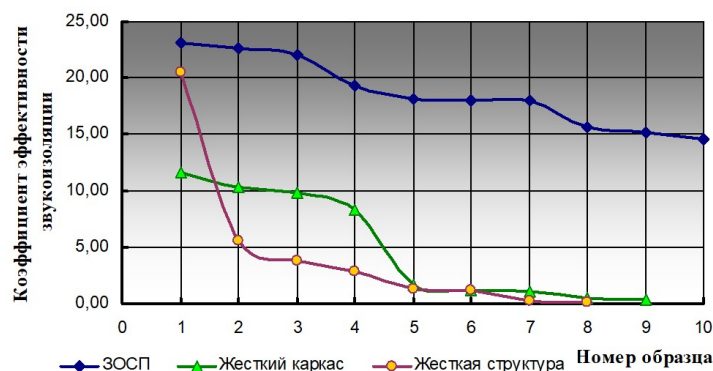


Рис. 6. Коэффициент эффективности звукоизоляции для различных групп звукозащитных материалов и панелей ЗОСП

Заключение

Разработана конструкция облегченной структурированной звукоподавляющей панели. Создание панели ЗОСП базируется на известном факте, что звуковые колебания тонко листовых материалов демпфируются окружающим их воздухом. Представлена конструктивная схема панели ЗОСП в сборе. Показаны элементы конструкции панели ЗОСП и этапы их сборки в панель ЗОСП. Указаны тонко листовые материалы, которые целесообразно использовать для изготовления этих панелей, обладающих пространственной целостностью и устойчивостью. Выполнено сравнение эффективности панелей ЗОСП и звукозащитных конструкций и материалов, используемых в современном мире на основе анализа их характеристик. Сравнение выявило тот факт, что панели ЗОСП по значению коэффициента эффективности звукоизоляции превосходят современные звукоизолирующие материалы. Это значит, что панели ЗОСП обладают небольшой поверхностной плотностью. Однако по величине собственной звукоизоляции немного уступают сотовому поликарбонату.

Список литературы

1. Борьба с шумами на производстве / под ред. Е.Я. Юдина. М.: Машиностроение, 1985. – 512 с.
2. Хекл, М. Справочник по акустике / М. Хекл, Х. А. Мюллер; перевод с немецкого Б. Д. Виноградова и Н. М. Колоярцева. – Л.: Судостроение, 1980. – 400 с.
3. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. – М.: Логос, 2007. – 423 с.
4. Мурзинов П.В. Оптимизация толщины листового материала звукоподавляющих

облегченных структурированных панелей (ЗОСП) // Безопасность труда в промышленности. – 2012. – № 5. – С. 30 – 33.

5. Rousounelos A. Optimisation of the structural modes of automotive-type panels using line stiffeners and point masses to achieve weak acoustic radiation / Rousounelos A., Walsh S.J., Krylov V.V., Horner J.L. // Applied Acoustics. – 2015. Т. 93. – С. 23-37.

6. Кочкин А.А. Проектирование звукоизоляции слоистых элементов конечных размеров / Кочкин А.А., Шубин И.Л., Шашкова Л.Э., Кочкин Н.А. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2016. № 4 (364). – С.161-167.

7. Патент 96884 РФ, МПК7 E04B 1/82, E04C 2/36. Звукоподавляющая структурированная панель / П.В. Мурзинов, В.Ф. Асминин. – Оpubл. 20.08.2010. – Бюл. №23.

8. Мурзинов П.В. Математическая модель звукоизоляции звукоподавляющих облегченных структурированных панелей (ЗОСП) // Безопасность труда в промышленности. – 2011. – № 3. – С.40-43.

9. Flidler J. Hover conveyors: a cheaper route to complex handling. // The Engineer., 1973, vol. 236. Ж 6119. p.38, 39, 41.

10. De Boer F. Air conveys small packages. – Food Engineering., 1972,vol.44,N 10, p. 69-71.

11. Мурзинов П.В. Методика выбора листовых материалов для высокоэффективных звукозащитных панелей // Безопасность жизнедеятельности. –2011. – №3. – С.20-23.

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 RU №80895 РФ. Шумозащитная панель / Тюрин, Б.В. Севастьянов, Д.В. Парахин, С.А. Пигалев. – Оpubл. 27.02.2009. – Бюл. № 6.

14. Мурзинов В.Л., Мурзинов П.В. Звукоподавляющие панели для защиты от шума на путях его распространения // Безопасность труда в промышленности. – 2018, №02. – С.5–11. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-2-5-11.

References

1. The fight against noise in production/ ed. by E. Ya. Yudin. M.: Mashinostroenie, 1985 – - 512 p.

2. Heckle, M. Handbook of acoustics / M. Heckle, H. A. Muller; translated from the German by B. D. Vinogradov and N. M. Koloyartsev. - L.: Shipbuilding, 1980. - 400 p.

3. Ivanov N. I. Engineering acoustics. Theory and practice of noise control. - Moscow: Logos, 2007. - 423 p.

4. Murzinov P. V. Optimization of the thickness of the sheet material of sound-suppressing lightweight structured panels (ZOSP). - 2012. - No. 5. - p. 30-33.

5. Rousounelos A. Optimisation of the structural modes of automotive-type panels using line stiffeners and point masses to achieve weak acoustic radiation / Rousounelos A., Walsh S.J., Krylov V.V., Horner J.L. // Applied Acoustics. – 2015. Т. 93. – С. 23-37.

6. Kochkin A. A., Shubin I. L., Shashkova L. E., Kochkin N. A. Projecting sound insulation of layered elements of finite dimensions. Technology of the textile industry. – 2016. № 4 (364). – Pp. 161-167.

7. Patent 96884 RF, IPC7 E04B 1/82, E04C 2/36. Sound-suppressing structured panel / P. V. Murzinov, V. F. Asminin. - Publ. 20.08.2010. - Byul. No. 23.

8. Murzinov P. V. Mathematical model of sound insulation of sound-suppressing lightweight structured panels (ZOSP) // Labor safety in industry. - 2011. - No. 3. - p. 40-43.

9. Flidler J. Hover conveyors: a cheaper route to complex handling. // The Engineer., 1973, vol. 236. Ж 6119. p.38, 39, 41.

10. De Boer F. Air conveys small packages. – Food Engineering., 1972,vol.44,N 10, p.69-71.

11. Murzinov P. V. Method of selecting sheet materials for high-performance sound-proof panels // Life safety. -2011. - No. 3. - p.20-23.

12. Tyurin A.P., Sevast'yanov B.V. Podhody k issledovaniyu zvukopogloshcheniya zakrytyh rezonatornyh panelej v usloviyah impul'snogo shuma // Vestnik KGTU im. A.N. Tupoleva. 2009. № 2. S.80—82.

13. Patent RU №80895 RF. SHumozashchitnaya panel' / Tyurin, B.V. Sevast'yanov, D.V. Parahin, S.A. Pigalev. – Opubl. 27.02.2009. – Byul. № 6.

14. Murzinov V. L., Murzinov P. V. Sound-suppressing panels for protection from noise on the ways of its propagation // Occupational safety in industry. - 2018, No. 02. - P. 5-11. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-2-5-11.