



svyazannykh pomescheniy [The use of homogeneous Markov circuits in assessing the distribution of sound energy in systems of acoustically connected rooms] // Ustoychivoe razvitiye regiona: arkhitektura, stroitelstvo, transport. Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Sustainable development of the region: architecture, construction, transport. Materials of the VII International Scientific and Practical Conference]. Tambov. gos. tekhn. un-t. Tambov, 2020. – P. 194–198.

14. Kuttruff H., Strassen T. Zur Abhandigkeit der Raumnachhalls von der Wand diffusitat und von Raumform // Acustica. 1980. V. 45. № 4. P. 246–255.

15. Kuttruff H. Stationare Schallausbreitung in Flachräumen // Acustica, 1985. V. 57. № 2. P. 62–67.

16. Zaborov V. I., Kochergin N. A. O predelakh primenimosti raschyota otrazhyonnogo shuma po statisticheskoy teorii [On the limits of applicability of the reflected noise calculation according to statistical theory] // Doklady III Vsesoyuznoy konferentsii po borbe s shumom i vibratsiyey. Sektsiya “Borba s shumom” [Reports of the III All-Union Conference on Combating Noise and Vibration. The section “Fighting the Noise”]. – Chelyabinsk, 1980. – P. 319–322.

© А. И. Антонов, О. А. Жоголева, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, 2022

Получено: 20.06.2022 г.

УДК 699.844

В. В. ДЫМЧЕНКО, канд. техн. наук, доц. кафедры архитектуры;
Д. В. МОНИЧ, канд. техн. наук, проф. кафедры архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОХОЖДЕНИЯ ЗВУКА ЧЕРЕЗ КАРКАСНО-ОБШИВНЫЕ ПЕРЕГОРОДКИ С РАЦИОНАЛЬНЫМ КАРКАСОМ И РАЗЛИЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ОБШИВОК

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-57;
эл. почта: megagrover@yandex.ru

Ключевые слова: каркасно-обшивная перегородка, характеристика самосогласования волновых полей, коэффициент резонансного прохождения звука, коэффициент инерционного прохождения звука.

Представлено исследование влияния материала листовых обшивок на параметры резонансного и инерционного прохождения звука через каркасно-обшивные перегородки с сигма-образными стоечными профилями. Рассмотрены три материала листовых обшивок. Определены соотношения физико-механических параметров перегородок, позволяющие эффективно использовать резервы повышения звукоизоляции. Построены и проанализированы частотные характеристики коэффициентов резонансного и инерционного прохождения звука через перегородки с тремя материалами листовых обшивок.

Из экспериментов различных исследователей известно, что материал обшивки перегородок оказывает существенное влияние на их звукоизоляцию в широком диапазоне частот [1, 2]. В работе [3] проведены исследования рационального сечения стоечных профилей звукоизолирующих каркасно-обшивных перегородок. Влияние данных элементов на прохождение звука через каркасно-обшивную перегородку можно условно разделить на две составляющие: 1) непосредственная передача звуковых колебаний от одной обшивки к другой (звуковой мостик);



2) изменение жесткостных параметров ограждения в целом.

В рамках данного исследования были рассмотрены перегородки с тремя типами обшивок, охватывающими достаточно широкий диапазон характеристик по поверхностной плотности и цилиндрической жесткости: гипсоволокнистые листы (ГВЛ) толщиной 12,5 мм, цементно-стружечные плиты (ЦСП) толщиной 16 мм, ориентированно-стружечные плиты (ОСП) толщиной 9,5 мм.

Для исследования жесткостных параметров ограждения рассмотрим каркасно-обшивную перегородку как условное однослойное ограждение в соответствии с методикой, разработанной в работе [4]. При этом отношение поверхностной плотности к цилиндрической жесткости (μ/D) запишется в виде $(\mu_1 + \mu_2)/D_{\text{пр}}$, где μ_1, μ_2 – поверхностные плотности обшивок, кг/м²; $D_{\text{пр}}$ – приведенная жесткость перегородки, Па·м³. Данное рассмотрение позволяет учесть совместное влияние стоечных профилей каркаса и обшивок.

Во всех перегородках использовался сигма-образный стоечный профиль каркаса, подробно исследованный в работе [4]. Характеристики данного профиля приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры сигма-образного стоечного профиля каркаса

Тип стоечного профиля	Схема поперечного сечения стоечного профиля	Изгибная жесткость стоечного профиля, EJ , кНм ²	Крутильная жесткость стоечного профиля, GJ_{ρ} , кНм ²
Сигма-образный		7,102	0,943

В расчетно-вычислительном комплексе “Structure CAD” было проведено численное моделирование каркасно-обшивных перегородок с различными типами обшивок по методике, описанной в работе [5]. В результате получены значения смещений лицевых поверхностей обшивок (см. табл. 2), а затем определены приведенные жесткости перегородок ($D_{\text{пр}}$, Па·м³) по формуле:

$$D_{\text{пр}} = 5ql^4 / (384\delta_1), \quad (1)$$

где q – звуковое давление, выраженное через равномерно распределенную по площади ограждения нагрузку, Па; l – шаг стоечных профилей каркаса, м; a – длина ограждения, м; δ_1 – максимальное смещение лицевой поверхности обшивки от воздействия звукового давления, м.

Таблица 2

Результаты численного моделирования каркасно-обшивных перегородок с различными материалами листовых обшивок

Наименование параметра	Материал листовых обшивок		
	ГВЛ толщиной 12,5 мм	ЦСП толщиной 16 мм	ОСП толщиной 9,5 мм
Максимальное смещение лицевой поверхности обшивки от воздействия звукового давления, δ_1 , мм	0,044	0,0219	0,0635
Приведенная жесткость перегородки, $D_{\text{пр}}$, Па·м ³	61,364	123,288	42,520



Анализируя полученные данные, можно видеть, что материал листовых обшивок оказывает существенное влияние на приведенную жесткость каркасно-обшивной перегородки. В табл. 3 приведены значения отношения $(\mu_1 + \mu_2)/D_{\text{ПР}}$ для исследованных материалов листовых обшивок.

Таблица 3

Отношение $(\mu_1 + \mu_2)/D_{\text{ПР}}$ для исследуемых материалов листовых обшивок

Материал листовых обшивок	$(\mu_1 + \mu_2)/D_{\text{ПР}}$, кг/(Па·м ⁵)
ГВЛ толщиной 12,5 мм	0,495
ЦСП толщиной 16 мм	0,38
ОСП толщиной 9,5 мм	0,33

Учитывая, что характеристика самосогласования волновых полей A_0 [6] находится в обратно пропорциональной зависимости от отношения $(\mu_1 + \mu_2)/D_{\text{ПР}}$, можно сделать вывод, что наиболее рациональный вариант жесткостных параметров перегородки соответствует комбинации сигма-образного стоечного профиля каркаса с обшивками из ГВЛ толщиной 12,5 мм, которому соответствует максимальное значение отношения $(\mu_1 + \mu_2)/D_{\text{ПР}} = 0,495$ кг/(Па·м⁵).

На рис. 1 представлено сравнение частотных характеристик самосогласования A_0 для перегородок с тремя исследуемыми материалами листовых обшивок. На рис. 1–3 использованы следующие обозначения: ПрПР – область простых пространственных резонансов; НПР – область неполных пространственных резонансов; ППР – область полных пространственных резонансов; $f_{\Gamma_{mn0}}$ – граничная частота области НПР; $f_{\Gamma_{mn}}$ – граничная частота области ППР для листовых обшивок.

Теоретические исследования выполнены по теории самосогласования волновых полей [6]. Расчеты параметров резонансного и инерционного прохождения звука через исследуемые каркасно-обшивные перегородки проведены по методу, разработанному в работе [4].

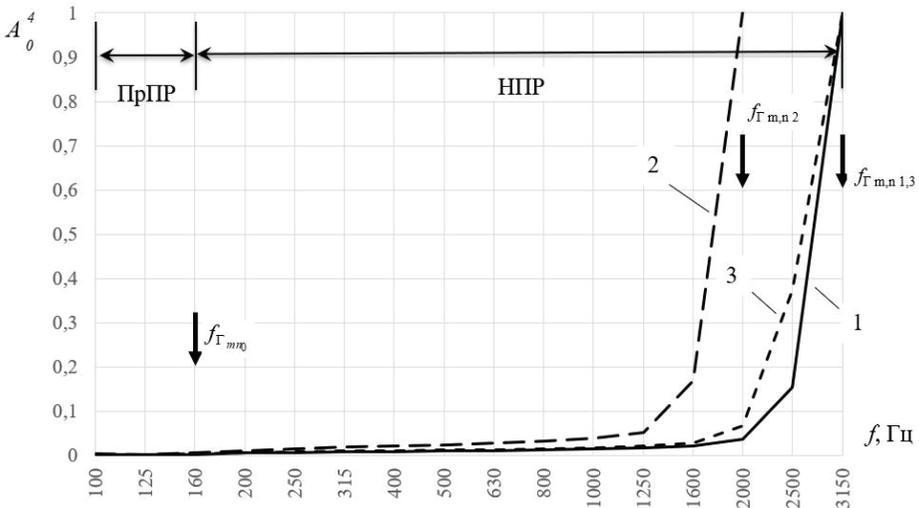


Рис. 1. Частотные характеристики самосогласования волновых полей каркасно-обшивных перегородок (размер 2,0 м × 1,2 м, воздушный промежуток 75 мм), с различными материалами листовых обшивок: 1 – ГВЛ толщиной 12,5 мм; 2 – ЦСП толщиной 16 мм; 3 – ОСП толщиной 9,5 мм

Анализируя представленные данные, можно видеть, что наименьшие значения характеристики самосогласования соответствуют перегородке с листовыми обшивками из ГВЛ, имеющей максимальное значение отношения $(\mu_1 + \mu_2)/D_{\text{ПР}}$. Рациональное сочетание сигма-образных стоечных профилей каркаса и листовых обшивок из ГВЛ приводит к эффективному снижению характеристики самосогласования волновых полей по сравнению с другими вариантами.

Далее были определены значения коэффициентов резонансного и инерционного прохождения звука для исследуемых каркасно-обшивных перегородок с различными материалами обшивок (см. рис. 2, 3). Расчет данных параметров проведен по методу, разработанному в работе [4].

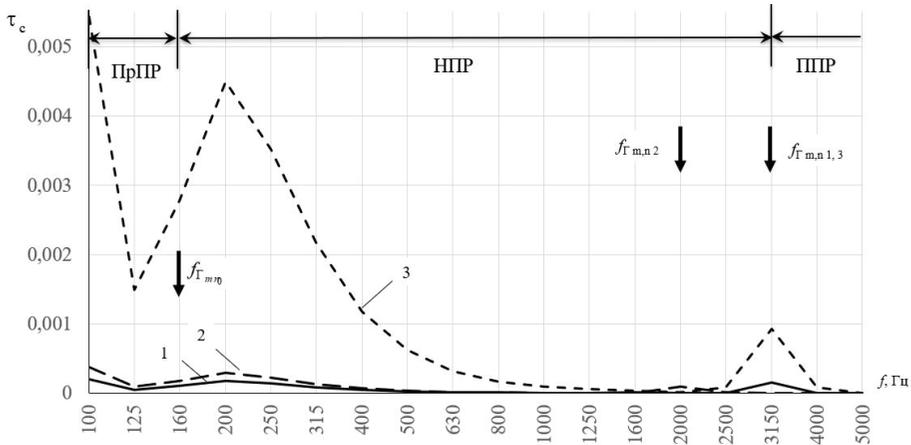


Рис. 2. Частотные характеристики коэффициентов резонансного прохождения звука для каркасно-обшивных перегородок (размер $2,0 \text{ м} \times 1,2 \text{ м}$, воздушный промежуток 75 мм), с различными материалами листовых обшивок: 1 – ГВЛ толщиной $12,5 \text{ мм}$; 2 – ЦСП толщиной 16 мм ; 3 – ОСП толщиной $9,5 \text{ мм}$

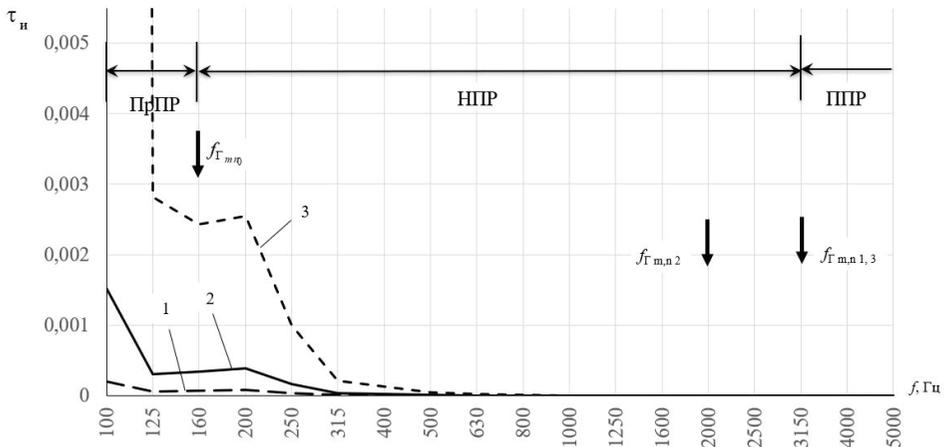


Рис. 3. Частотные характеристики коэффициентов инерционного прохождения звука для каркасно-обшивных перегородок (размер $2,0 \text{ м} \times 1,2 \text{ м}$, воздушный промежуток 75 мм), с различными материалами листовых обшивок: 1 – ГВЛ толщиной $12,5 \text{ мм}$; 2 – ЦСП толщиной 16 мм ; 3 – ОСП толщиной $9,5 \text{ мм}$



Анализируя данные, представленные на рис. 2, 3, можно видеть, что наименьшие значения коэффициентов резонансного и инерционного прохождения звука соответствуют перегородке с обшивками из ГВЛ толщиной 12,5 мм, для которой отношение $(\mu_1 + \mu_2)/D_{\text{пр}}$ имеет максимальное значение по сравнению с другими материалами обшивок.

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что для эффективного использования резервов повышения звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок, определенных в работе [4], необходимо применять рациональное сочетание стоечных профилей каркаса и листовых обшивок, которое определяется величиной отношения $(\mu_1 + \mu_2)/D_{\text{пр}}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sound transmission through lightweight double-leaf partitions: theoretical modelling / J. Wang, T. J. Lu, J. Woodhouse, R. S. Langley, J. Evans // *J. Sound Vib.* – 2005. – Volume 286. – P. 817–847.
2. Боголепов, И. И. Увеличение звукоизоляции двустенных конструкций за счет применения звукоизолирующих мостиков / И. И. Боголепов // *Инженерно-строительный журнал.* – 2009. – № 2. – С. 46–53.
3. Jan, C. E., Van den Wyngaert. Shape optimization of studs in double-leaf plasterboard walls for maximal boardband sound insulation and minimal material use / Jan C. E., Van den Wyngaert, M. Schevenels, Edwin P. B. Reynders // *Applied Acoustics.* – 2021. – Volume 183. – DOI:10.1016/J.APACOUST.2021.108307.
4. Дымченко, В. В. Звукоизоляция каркасно-обшивных перегородок с одинарным каркасом : специальность 05.23.01: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дымченко Владимир Викторович. – Москва, 2019. – 168 с.
5. Численное моделирование звукоизолирующих каркасно-обшивных перегородок с различными типами стоечных профилей / В. Н. Бобылев, В. В. Дымченко, Д. В. Монич, П. А. Хазов // *Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет.* – Нижний Новгород, 2018. – № 1. – С. 20–24.
6. Седов, М. С. Звукоизоляция / М. С. Седов // *Техническая акустика транспортных машин : справочник / под редакцией Н. И. Иванова.* – Санкт-Петербург : Политехника, 1992. – Глава 4. – С. 68–106.

DYMCHEIKO Vladimir Viktorovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of architecture; MONICH Dmitry Viktorovich, candidate of technical sciences, professor of the chair of architecture

RESEARCH OF THE PARAMETERS OF SOUND TRANSMISSION THROUGH FRAME-SHEATHED PARTITIONS WITH A RATIONAL FRAME AND VARIOUS SHELLING MATERIALS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-19-57;
e-mail: megagrover@yandex.ru

Key words: frame-sheathed partition, characteristic of self-consistency of wave fields, resonant sound transmission coefficient, inertial sound transmission coefficient.



The article presents a study of the influence of the material of sheet skins on the parameters of resonant and inertial sound transmission through frame-sheathed partitions with sigma-shaped rack profiles. Three materials of sheet skins are considered. The ratios of the physical and mechanical parameters of the partitions are determined, which make it possible to use effectively reserves for increasing sound insulation. The frequency characteristics of the coefficients of resonant and inertial passage of sound through partitions with three sheeting materials are constructed and analyzed.

REFERENCES

1. Wang J., Lu T. J., Woodhouse J., Langley R. S., Evans J. Sound transmission through lightweight double-leaf partitions: theoretical modelling // *J. Sound Vib.*, 2005. Vol. 286. P. 817–847.
2. Bogolepov I. I. Uvelichenie zvukoizolyatsii dvustennykh konstruktsey za schyot primeneniya zvukoizoliruyuschikh mostikov [Increasing the sound insulation of double-walled structures through the use of soundproof bridges]. *Inzhenerno-stroitelny zhurnal [Engineering and Construction Journal]*. 2009, № 2. – P. 46–53.
3. Van den Wyngaert, Jan C. E. Shape optimization of studs in double-leaf plasterboard walls for maximal boardband sound insulation and minimal material use // *Applied Acoustics*. 2021. – Volume 183. – DOI:10.1016/J.APACOUST.2021.108307.
4. Dymchenko V. V. Zvukoizolyatsiya karkasno-obshivnykh peregorodok s odinarnym karkasom [Sound insulation of frame-sheathed partitions with a single frame]: dis... kand. tekhn. nauk. – Moscow, 2019. – 168 p.
5. Boblyov V. N., Dymchenko V. V., Monich D. V., Khazov P. A. Chislennoe modelirovanie zvukoizoliruyuschikh karkasno-obshivnykh peregorodok s razlichnymi tipami stoechnykh profilye [Numerical simulation of sound-insulating framed partitions with various types of frame profiles]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]*. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2018. № 1. – P. 20–24.
6. Sedov M. S. Zvukoizolyatsiya. Tekhnicheskaya akustika transportnykh mashin [Sound insulation. Technical acoustics of vehicles]: spravochnik, pod red. N. I. Ivanova. Saint-Petersburg: Politehnika, 1992. Ch. 4. P. 68–106.

© В. В. Дымченко, Д. В. Мониц, 2022

Получено: 28.06.2022 г.

УДК 624.074.24

В. Д. АНТОШКИН, д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой зданий, сооружений и автомобильных дорог

СБОРНЫЕ СФЕРИЧЕСКИЕ ОБОЛОЧКИ С ШЕСТИУГОЛЬНЫМИ ПАНЕЛЯМИ НА ОСНОВЕ СЕТИ ЧЕБЫШЕВА

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева»

Россия, 430005, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68. Тел.: (8342) 24-37-32;

факс: (8342) 47-29-13; эл. почта: antovd@mail.ru

Ключевые слова: сборная пространственная структура, сферическая оболочка, конструктивно-технологическое решение, окружность, панель, шестиугольник, разрезка, пирамида.