



УДК 699.844

Д. В. МОНИЧ, канд. техн. наук, проф. кафедры архитектуры

МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ И РАЗРАБОТКИ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ЛЕГКИХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-46;
эл. почта: dmitriy.monich@mail.ru

Ключевые слова: звукоизоляция, легкие ограждающие конструкции, рациональное конструктивное решение, самосогласование волновых полей, граничная частота, диффузное волновое поле.

Получена методология расчета звукоизоляции и разработки рациональных конструктивных решений легких ограждающих конструкций. Предназначена для применения при проектировании звукоизолирующих ограждающих конструкций между помещениями гражданских и промышленных зданий. Методология включает в себя четыре метода расчета звукоизоляции различных типов легких ограждающих конструкций и методику оценки эффективности ограждений по сравнению с ограждениями-аналогами. Применение методологии позволяет обеспечивать выполнение нормативных требований по звукоизоляции легких перегородок без значительного увеличения поверхностной плотности и толщины.

Введение

В строительной отрасли в последние 20–30 лет получили широкое распространение новые материалы и новые типы легких ограждающих конструкций, которые не имеют достаточного обоснования по звукоизолирующим свойствам. В качестве примера для однослойных ограждений можно привести легкие перегородки, выполненные из пазогребневых гипсовых плит (ППГ) толщиной 80 мм, из газобетонных и газосиликатных блоков толщиной 100 мм и др. В качестве примера для многослойных ограждений можно привести различные виды сэндвич-панелей (СИП-панели), широко применяемые в малоэтажном строительстве. Многочисленные натурные измерения показывают, что данные ограждения не соответствуют нормативным требованиям по изоляции воздушного шума, установленным СП 51.13330 «Защита от шума». Особенно остро это проявляется в жилых домах новой постройки, имеющих несущий железобетонный каркас, легкие стены и перегородки из газобетонных или газосиликатных блоков. Для решения данного вопроса в практике строительства в настоящее время используются нерациональные способы: 1) увеличение поверхностной плотности ограждений; 2) увеличение толщины ограждений. Таким образом, актуальным вопросом для строительной акустики является получение методологии, которая позволит разрабатывать рациональные конструктивные решения легких ограждающих конструкций и выполнять расчет их звукоизоляции в нормируемом диапазоне частот.

Основные положения методологии

Рациональные конструктивные решения могут быть получены на основании анализа параметров прохождения звука через легкие ограждения. Для этого применена теория самосогласования волновых полей, разработанная научной школой М. С. Седова [1]. Теория позволяет проводить расчет собственной звукоизоляции однослойных и многослойных ограждений (R , дБ) с учетом резонансного прохож-

дения (τ_r) и инерционного прохождения звука (τ_i). Важной особенностью теории является возможность расчета предельной звукоизоляции ограждений (R_{\max} , дБ), определяемой только инерционным прохождением, при отсутствии резонансного прохождения звука ($\tau_r = 0$). Данный подход дает возможность определения внутренних резервов повышения звукоизоляции ограждающих конструкций [2]:

$$\Delta r = R_{\max} - R, \quad (1)$$

где R_{\max} – предельная звукоизоляция ограждения, дБ; R – собственная звукоизоляция ограждения, дБ.

На рис. 1 представлены обобщенные частотные характеристики собственной и предельной звукоизоляции легкой каркасно-обшивной перегородки, построенные по методу [3], с учетом разделения нормируемого диапазона частот на область простых пространственных резонансов (ПрПР), неполных пространственных резонансов (НПР), полных пространственных резонансов (ППР). Заштрихованная область соответствует внутренним резервам повышения звукоизоляции ограждения. Анализируя представленные результаты, можно видеть, что наибольшие резервы повышения звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок находятся вблизи граничной частоты области ППР для листовых обшивок (f_{bmn}), граничной частоты области НПР для ячейки каркаса ($f_{bmn0(fc)}$), а также вблизи резонансной частоты системы «масса-упругость-масса» (f_{msm}).

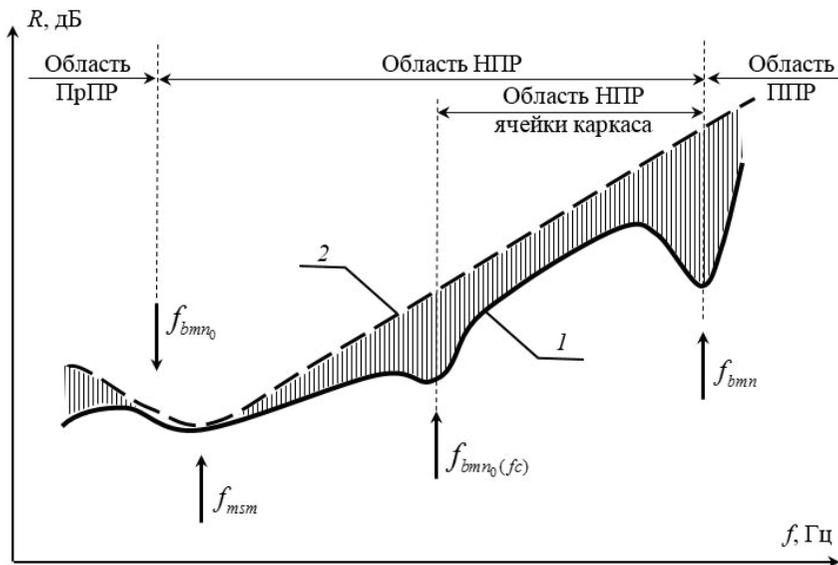


Рис. 1. Обобщенные частотные характеристики звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок конечных геометрических размеров: 1 – собственная звукоизоляция (R); 2 – предельная звукоизоляция (R_{\max}); f_{bmn0} – граничная частота области НПР; $f_{bmn0(fc)}$ – граничная частота области НПР для ячейки каркаса; f_{bmn} – граничная частота области ППР для листовых обшивок; f_{msm} – резонансная частота системы «масса-упругость-масса» («листовая обшивка-воздушный промежуток-листовая обшивка»)

Расчет внутренних резервов повышения звукоизоляции дает возможность определения эффективных способов снижения резонансного прохождения звука (τ_r) через легкие ограждения. С использованием данного подхода на кафедре архитектуры ННГАСУ были разработаны новые типы легких ограждающих кон-

струкций, а также методы расчета их звукоизоляции: 1) легкие перегородки с антирезонансными панелями [4], [5]; 2) легкие перегородки из сэндвич-панелей с пазогребневым соединением среднего слоя [6], [7]; 3) легкие каркасно-обшивные перегородки с антирезонансными панелями [8].

Вышеуказанные методы расчета звукоизоляции ограждений могут применяться при условии диффузного звукового поля в помещении высокого уровня (ПВУ), в диапазоне выше граничной частоты ($f > f_b$). Для диапазона частот ниже граничной частоты ($f < f_b$) разработан отдельный метод расчета звукоизоляции, также включенный в методологию. Таким образом, частотная характеристика звукоизоляции легких ограждений разделяется на два диапазона (см. рис. 2).

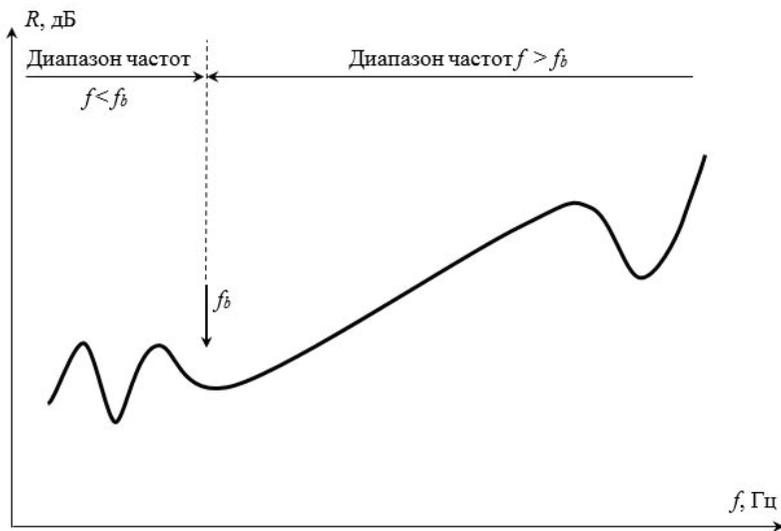


Рис. 2. Обобщенная частотная характеристика звукоизоляции легкой ограждающей конструкции с разделением на два диапазона частот ниже и выше граничной частоты (f_b)

Метод расчета звукоизоляции легких ограждающих конструкций в диапазоне частот ниже граничной частоты

Граничная частота определяется из условия неполного пространственного резонанса, при котором вдоль наименьшей стороны ограждающей конструкции может располагаться не менее 1 полуволны звукового поля в ПВУ:

$$f_b > f(n_0 > 1), \quad (2)$$

где n_0 – число длин проекций полуволн звукового поля в ПВУ по наименьшей стороне ограждения.

На рис. 3 представлены частотные характеристики чисел длин проекций полуволн звукового поля в ПВУ по наименьшей стороне ограждения для трех легких перегородок с различными геометрическими размерами.

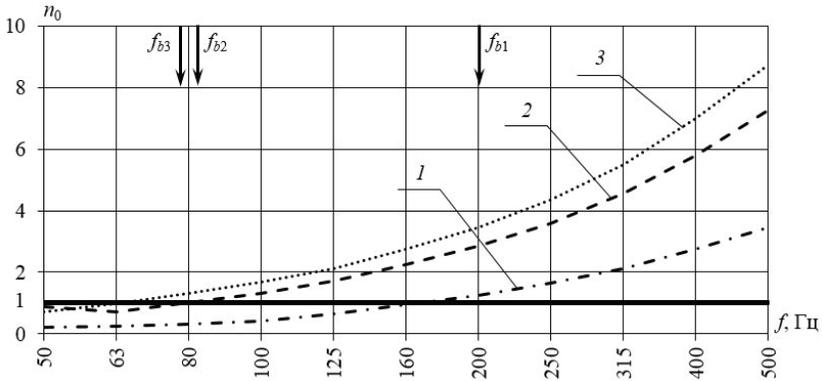


Рис. 3. Частотные характеристики чисел длин проекций полуволн звукового поля в ПБУ по наименьшей стороне ограждения для трех легких каркасно-обшивных перегородок с антирезонансными панелями: 1 – геометрические размеры перегородки $a \times b = 2,0 \times 1,2$ м; 2 – геометрические размеры перегородки $a \times b = 4,2 \times 2,5$ м; 3 – геометрические размеры перегородки $a \times b = 6,0 \times 3,0$ м

По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований в лабораторных и натурных условиях можно сделать следующие выводы:

1) граничная частота самосогласования волновых полей в ПБУ и в ограждении (f_b) является граничной частотой диффузности звукового поля в плоскости ограждающей конструкции;

2) в диапазоне частот ниже граничной частоты диффузности звукового поля в плоскости ограждающей конструкции ($f < f_b$) колебания ограждения близки к поршнеобразным движениям, а прохождение звука происходит только в инерционном режиме (резонансное прохождение звука отсутствует, $\tau_r = 0$).

Разработан метод расчета звукоизоляции легких ограждающих конструкций в диапазоне частот ниже граничной частоты диффузности звукового поля в плоскости ограждающей конструкции ($f < f_b$). Данный метод расчета включает в себя четыре этапа:

- этап № 1. Определение исходных данных для расчета;
- этап № 2. Расчет граничной частоты диффузности звукового поля в плоскости ограждающей конструкции (f_b);
- этап № 3. Расчет параметров инерционного прохождения звука через ограждение в диапазоне частот $f < f_b$;
- этап № 4. Расчет звукоизоляции ограждения в диапазоне частот $f < f_b$.

На рис. 4, 5 представлены теоретические частотные характеристики звукоизоляции двух типов легких перегородок, рассчитанные в диапазонах частот выше и ниже граничной частоты.

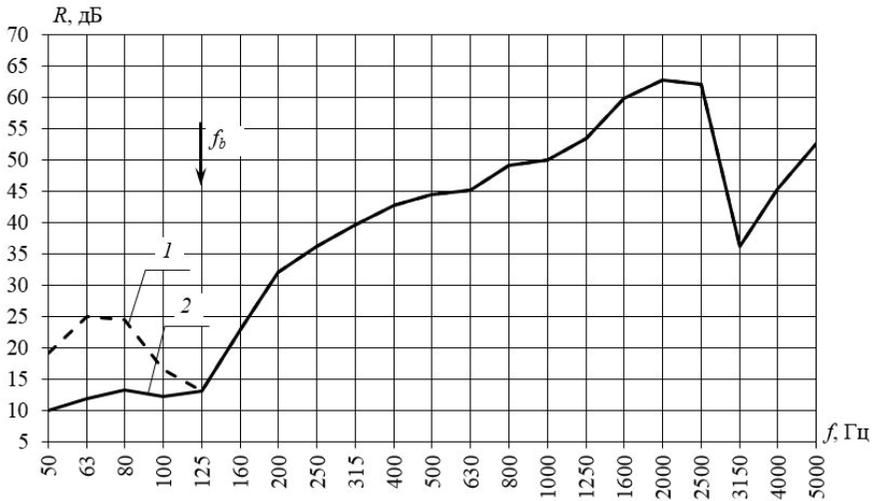


Рис. 4. Теоретические частотные характеристики звукоизоляции легкой перегородки из бескаркасных сэндвич-панелей с пазогребневым соединением среднего слоя (геометрические размеры перегородки $a \times b = 2,2 \times 2,65$ м; облицовки из ГВЛ толщиной $h_1 = 12,5$ мм; средний слой из жесткой минеральной ваты толщиной $h_2 = 50$ мм; общая толщина перегородки $h_{sp} = 75$ мм): 1 – по методу расчета звукоизоляции, предполагающим диффузное звуковое поле в плоскости ограждения во всем рассматриваемом диапазоне частот; 2 – по методу расчета звукоизоляции ниже граничной частоты

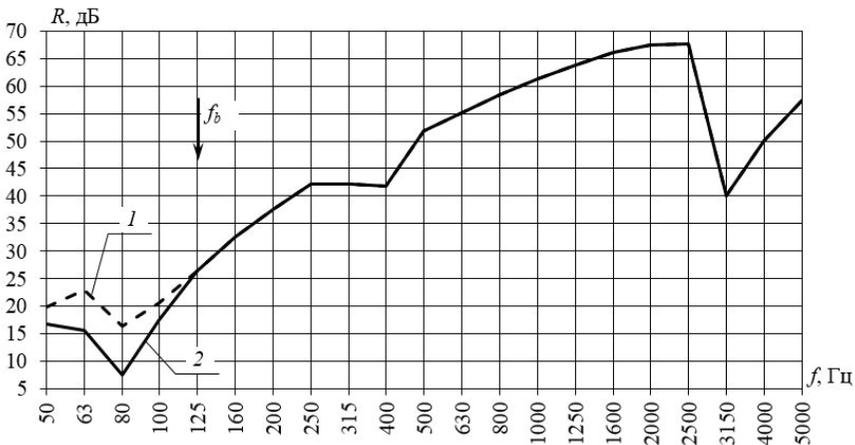


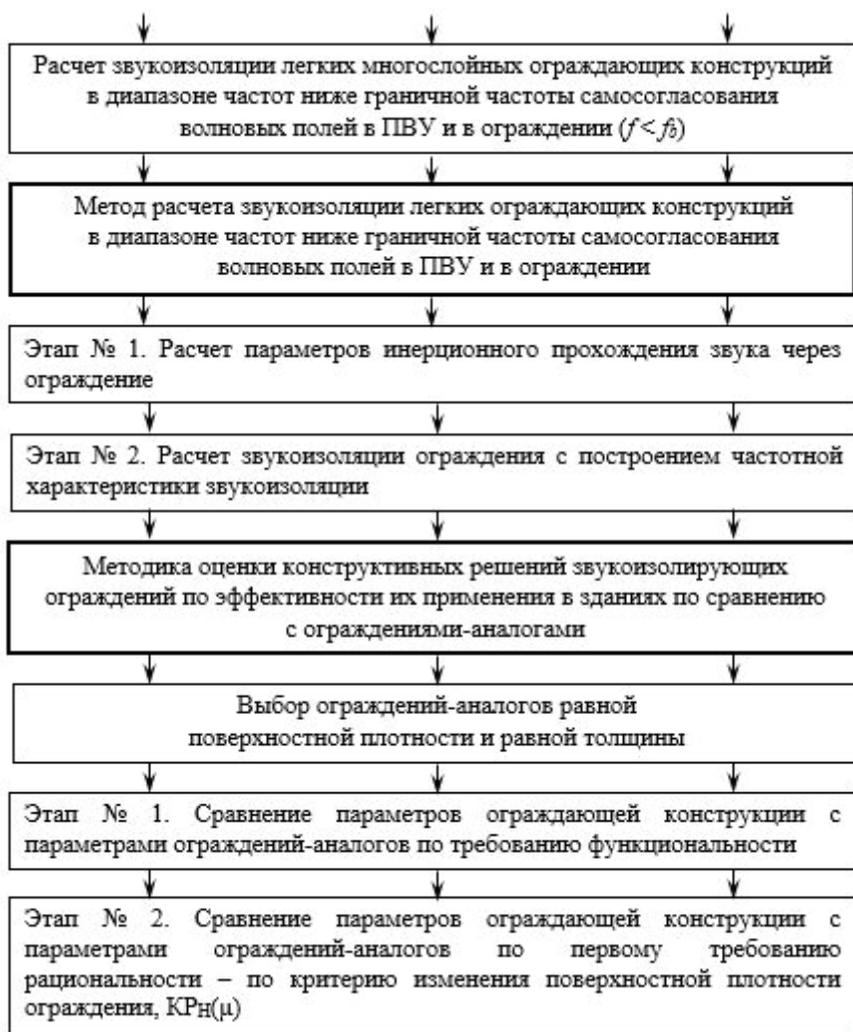
Рис. 5. Теоретические частотные характеристики звукоизоляции легкой каркасно-обшивной перегородки с антрирезонансными панелями, с двойным каркасом (геометрические размеры перегородки $a \times b = 2,2 \times 2,65$ м; обшивки из ГВЛ толщиной $h_1 = 12,5$ мм; общая толщина перегородки $h_{en} = 130$ мм): 1 – по методу расчета, предполагающим диффузное звуковое поле в плоскости ограждения во всем рассматриваемом диапазоне частот; 2 – по методу расчета звукоизоляции ниже граничной частоты

Блок-схема применения методологии

Полученная методология включает в себя четыре метода расчета звукоизоляции различных типов легких ограждающих конструкций и методику оценки эффективности ограждений по сравнению с ограждениями-аналогами [9]. Блок-схема применения методологии представлена на рис. 6.

Блок-схема





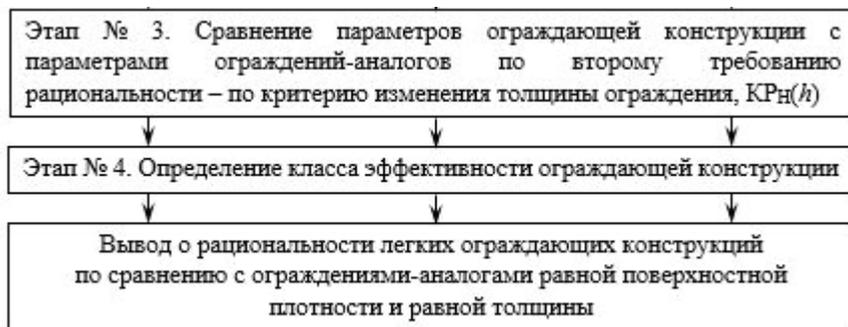


Рис. 6. Блок-схема методологии расчета звукоизоляции и разработки рациональных конструктивных решений легких многослойных ограждающих конструкций

Применение полученной методологии позволяет проводить расчеты звукоизоляции легких многослойных ограждений и разрабатывать на этой основе рациональные конструктивные решения с учетом внутренних резервов. Это позволяет обеспечивать выполнение нормативных требований по звукоизоляции легких перегородок без значительного увеличения поверхностной плотности и толщины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Седов, М. С. Звукоизоляция / М. С. Седов. – Текст : непосредственный // Техническая акустика транспортных машин : справочник / Л. Г. Балишанская [и др.] ; под редакцией Н. И. Иванова. – Санкт-Петербург, 1992. – Гл. 4. – С. 68–105. – ISBN 5-7325-0090-1.
2. Резервы повышения звукоизоляции однослойных ограждающих конструкций : монография / В. Н. Бобылев, П. А. Гребнев, В. А. Тишков, Д. В. Монич ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2014. – 118 с. – ISBN 978-5-87941-998-6. – Текст : непосредственный.
3. Монич, Д. В. Метод расчета звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок / Д. В. Монич. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 4. – С. 30–39.
4. Бобылев, В. Н. Звукоизоляция однослойных легких перегородок с антирезонансными панелями / В. Н. Бобылев, П. А. Гребнев, В. И. Ерофеев, Д. В. Монич, Д. С. Кузьмин. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 3. – С. 46–55.
5. Монич, Д. В. Метод расчета звукоизоляции легких перегородок с бескаркасными антирезонансными панелями / Д. В. Монич. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2021. – №12. – С. 27–33.
6. Erofeev, V. I. Sound insulation properties of sandwich panels / V. I. Erofeev, D. V. Monich // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Volume 896, Issue 1, 12 August. – № 012005 DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012005.
7. Способы повышения звукоизоляции бескаркасных сэндвич-панелей / В. Н. Бобылев, П. А. Гребнев, В. И. Ерофеев, Д. В. Монич, Д. С. Кузьмин. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 2. – С. 32–45.
8. Монич, Д. В. Метод расчета звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок / Д. В. Монич. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 4. – С. 30–39.



9. Мониц, Д. В. Метод оценки эффективности звукоизолирующих легких ограждающих конструкций / Д. В. Мониц. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 4. – С. 17–29.

MONICH Dmitry Viktorovich, candidate of technical science, professor of the chair of architecture

METHODOLOGY FOR CALCULATING SOUND INSULATION AND DEVELOPMENT OF RATIONAL DESIGN SOLUTIONS OF LIGHTWEIGHT ENCLOSURES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-19-46;
e-mail: dmitriy.monich@mail.ru

Key words: sound insulation, lightweight enclosing structures, rational design solution, self-coincidence of wave fields, cutoff frequency, diffuse wave field.

The methodology for calculating sound insulation and developing rational design solutions for light enclosing structures has been obtained. It is intended for use in the design of sound insulating enclosing structures between the rooms of civil and industrial buildings. The methodology includes four methods for calculating sound insulation of various types of lightweight enclosing structures and a methodology for assessing the effectiveness of enclosures in comparison with enclosures-analogous. The application of the methodology makes it possible to meet the regulatory requirements of sound insulation of lightweight partitions without a significant increase of surface density and thickness.

REFERENCES

1. Sedov M. S. *Zvukoizolyatsiya* [Sound insulation]. *Tekhnicheskaya akustika transportnykh mashin* [Technical acoustics of transport vehicles]: *spravochnik, pod red. N. I. Ivanova*. Saint Petersburg: 1992. Ch. 4. P. 68–105. – ISBN 5-7325-0090-1.
2. Boblyov V. N., Tishkov V. A., Monich D. V., Grebnev P. A. *Rezervy povysheniya zvukoizolyatsii odnosloynnykh ogradhdayuschikh konstruktсий* [Reserves for improving sound insulation of single-layer enclosing structures]. *Monografiya, Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2014. – 118 p. – ISBN 978-5-87941-998-6.*
3. Monich D. V. *Metod raschyota zvukoizolyatsii karkasno-obshivnykh peregorodok* [Calculation method of sound insulation of frame-sheathing partitions] // *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. *Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021, № 4. – P. 30–39.*
4. Boblyov V. N., Grebnev P. A., Erofeev V. I., Monich D. V., Kuzmin D. S. *Zvukoizolyatsiya odnosloynnykh lyogkikh peregorodok s antirezonsnymi panyami* [Sound insulation of single-layer lightweight partitions with anti-resonant panels] // *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. *Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021, № 3. – P. 46–55.*
5. Monich D. V. *Metod raschyota zvukoizolyatsii lyogkikh peregorodok s beskarkasnymi antirezonsnymi panyami* [Method for calculating sound insulation of light partitions with frameless anti-resonant panels] // *Zhilishnoe stroitelstvo* [Housing construction]. 2021. № 12. – P. 27–33.
6. Erofeev V. I., Monich D. V. *Sound insulation properties of sandwich panels* // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Volume 896, Issue 1, 12 August 2020, № 012005 DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012005.



7. Bobylyov V. N., Grebnev P. A., Erofeev V. I., Monich D. V., Kuzmin D. S. Sposoby povysheniya zvukoizolyatsii beskarkasnykh sendvich-paneley [Ways to improve sound insulation of frameless sandwich panels] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021, № 2. – P. 32–45.

8. Monich D. V. Metod raschyota zvukoizolyatsii karkasno-obshivnykh peregorodok [Calculation method of sound insulation of frame-sheathing partitions] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021, № 4. – P. 30–39.

9. Monich D. V. Metod otsenki effektivnosti zvukoizoliruyuschikh lyogkikh ograzhdayuschikh konstruksiy [Method for assessing effectiveness of soundproof lightweight enclosing structures] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021. № 4. – P. 17–29.

© Д. В. Монич, 2022

Получено: 27.12.2021 г.

УДК 699.844

Д. В. МОНИЧ, канд. техн. наук, проф. кафедры архитектуры

МЕТОД РАСЧЕТА ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ КАРКАСНО-ОБШИВНЫХ ПЕРЕГОРОДОК С АНТИРЕЗОНАНСНЫМИ ПАНЕЛЯМИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-46;
эл. почта: dmitriy.monich@mail.ru

Ключевые слова: звукоизоляция, резонансное прохождение звука, инерционное прохождение звука, самосогласование волновых полей, каркасно-обшивная перегородка, антирезонансные панели.

Представлен теоретический метод расчета звукоизоляции нового типа звукоизолирующего ограждения – каркасно-обшивных перегородок с антирезонансными панелями. Метод разработан на базе теории самосогласования волновых полей. Предназначен для применения при проектировании звукоизолирующих ограждающих конструкций между помещениями гражданских и промышленных зданий. Приведено сравнение результатов теоретических расчетов и экспериментальных измерений в лабораторных условиях.

Каркасно-обшивные перегородки являются распространенным типом многослойных ограждающих конструкций, широко применяемым в гражданском и промышленном строительстве.

Исследованиями звукоизоляции данного типа ограждений занимаются зарубежные и российские ученые. В работах [1], [2] исследовано прохождение звука через различные типы каркасно-обшивных перегородок, в том числе с применением методов компьютерного моделирования. Влияние жесткости стоечных профилей каркаса на звукоизоляцию перегородок исследовано в работе [3]. Звукоизоляция каркасно-обшивных перегородок с обшивками из слоистых элементов исследована в работе [4].

В Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете (ранее – ГИСИ им. В. П. Чкалова) научной школой М. С. Седова проводятся