

В. Н. Бобылев, В. В. Дымченко, Д. В. Мониц

**РАСЧЕТ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ  
КАРКАСНО-ОБШИВНЫХ ПЕРЕГОРОДОК  
С ОДИНАРНЫМ КАРКАСОМ**

*Учебное пособие*

Нижний Новгород  
2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

В. Н. Бобылев, В. В. Дымченко, Д. В. Мониц

Расчет звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок  
с одинарным каркасом

Утверждено редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия

Нижний Новгород  
ННГАСУ  
2020

ББК 38.113  
Р 24

*Печатается в авторской редакции*

Рецензенты:

- В. И. Ерофеев – д-р физ-мат. наук, профессор, директор Института проблем машиностроения РАН – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (г. Нижний Новгород)
- А. А. Кочкин – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой промышленного и гражданского строительства, декан инженерно-строительного факультета ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» (г. Вологда)

Бобылев В. Н. Расчет звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок с одинарным каркасом [Текст]: учеб. пособие / В. Н. Бобылев, В. В. Дымченко, Д. В. Мониц; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2020 – 22 с.; ил.  
ISBN 978-5-528-00375-7

Представлен метод расчета звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок с одинарным каркасом с учетом влияния типа стоечного профиля. Метод основан на теории самосогласования волновых полей, разработанной научной школой профессора М.С. Седова.

Предназначено для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 "Строительство", бакалавриат (профиль "Промышленное и гражданское строительство"), по специальности 08.05.01 "Строительство уникальных зданий и сооружений", специалитет (специализация "Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений"), по направлению подготовки 08.04.01 "Строительство", магистратура (профиль "Теория и проектирование зданий и сооружений"), а также научных работников, преподавателей вузов.

Ил. 2; табл. 12; библиогр. назв. 8

ББК 38.113

ISBN 978-5-528-00375-7

© В. Н. Бобылев, В. В. Дымченко,  
Д. В. Мониц, 2020  
© ННГАСУ, 2020

## Содержание

	Введение	4
1	Определение исходных параметров каркасно-обшивной перегородки	4
2	Расчет граничных частот областей прохождения звука через перегородку	7
3	Расчет звукоизоляции каркасно-обшивной перегородки	10
4	Пример расчета звукоизоляции каркасно-обшивной перегородки	16
	Литература	22

## Введение

Каркасно-обшивные перегородки, благодаря технологичности возведения и относительно небольшой массе, получили широкое распространение в практике гражданского и промышленного строительства: перегородки в жилых, общественных и промышленных зданиях, звукоизолирующие кожухи для защиты от шума инженерного и технологического оборудования зданий.

Базовая конструктивная схема каркасно-обшивных перегородок зданий (см. рис. 1) состоит из следующих элементов: 1) горизонтальные направляющие профили, которые крепятся к несущим конструкциям перекрытий в помещении (пол, потолок); 2) вертикальные стоечные профили, которые устанавливаются в горизонтальные направляющие профили с требуемым шагом по длине перегородки (как правило, шаг равен 600 мм). В данном пособии рассматриваются тонкостенные стальные профили; 3) листовые обшивки из листовых материалов, которые крепятся к стоечным и направляющим профилям винтами-саморезами. В качестве листовых материалов могут применяться гипсокартонные листы (ГКЛ), гипсоволокнистые листы (ГВЛ), цементно-стружечные плиты (ЦСП), ориентированно-стружечные плиты (ОСП) и др. Воздушный промежуток между обшивками может быть свободным или с заполнением звукопоглощающим материалом.

Расчет звукоизоляции еще на стадии проектирования для каркасно-обшивных перегородок является актуальной задачей. Однако имеющиеся методы расчета не учитывают влияния стоечных профилей каркаса, что может в дальнейшем вносить существенные расхождения с реальными значениями звукоизоляции.

Теория самосогласования волновых полей, разработанная научной школой профессора М.С. Седова [1] – [4], позволяет проводить расчет звукоизоляции однослойных и многослойных ограждающих конструкций с учетом резонансно-

го и инерционного прохождения звука и определять резервы повышения их звукоизоляции.

Приведенный в данном пособии метод позволяет проводить расчет звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок с учетом влияния стоечных профилей каркаса.

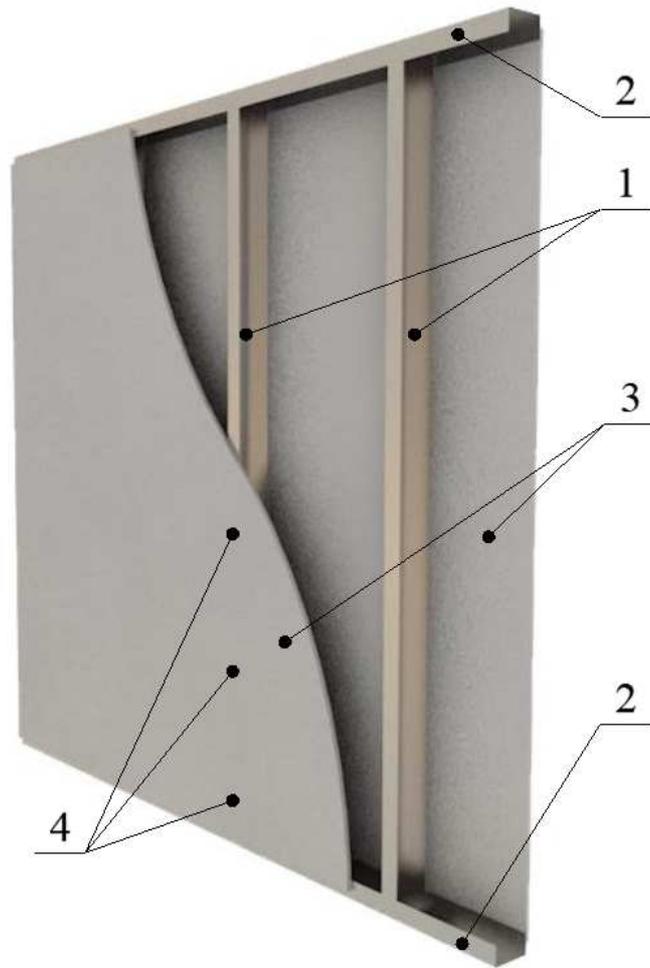


Рис. 1. Базовая конструктивная схема каркасно-обшивной перегородки: 1 – вертикальные стоечные профили каркаса; 2 – горизонтальные направляющие профили каркаса; 3 – листовые обшивки; 4 – элементы крепления листовых обшивок к профилям каркаса (стальные винты-саморезы)

## 1. Определение исходных параметров каркасно-обшивной перегородки

### 1.1. Определение физико-механических характеристик обшивок и стоечных профилей каркаса перегородки

На начальном этапе расчета устанавливаются основные параметры проектируемой каркасно-обшивной перегородки: характеристики обшивок и характеристики стоечных профилей каркаса перегородки (см. табл. 1, 2).

### 1.2. Вычисление поверхностной плотности и цилиндрической жесткости листовых обшивок перегородки

Поверхностная плотность для каждой обшивки ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ) определяется по формуле:

$$\mu = \rho h, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность материала обшивки,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $h$  – толщина обшивки, м.

В данном расчете рассматриваются перегородки с одинаковыми листовыми обшивками (по одной обшивке с каждой стороны).

Цилиндрическая жесткость для каждой обшивки ( $\text{Па}\cdot\text{м}^3$ ) определяется по формуле:

$$D = \frac{E_d h^3}{12(1 - \nu^2)}, \quad (2)$$

где  $E_d$  – модуль упругости материала обшивки, Па;  $\nu$  – коэффициент Пуассона материала обшивки;  $h$  – то же, что в формуле (1).

Таблица 1

### Характеристики листовых обшивок перегородки

Геометрические размеры	Длина, $a$ , м	
	Ширина, $b$ , м	
	Толщина, $h$ , м	
Параметры материала	Плотность материала, $\rho$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	
	Модуль упругости материала, $E_d$ , Па	
	Коэффициент Пуассона материала, $\nu$	
	Коэффициент потерь материала, $\eta$	

### Характеристики стоечных профилей каркаса перегородки

Высота поперечного сечения (ширина воздушного промежутка между обшивками), $d$ , м		
Условное однослойное ограждение (область 1, $f < f_1^{\text{КОП}}$ ) <sup>1</sup>	Коэффициент формы стоечного профиля каркаса, $k_{\text{ф1}}$	
Двойное ограждение (область 2, $f > f_1^{\text{КОП}}$ ) <sup>1</sup>	Коэффициент податливости профиля каркаса, $k_{\text{ф2}}$	

<sup>1</sup>Подробнее – см. п. 2.

## 2. Расчет граничных частот областей прохождения звука через перегородку

В режиме резонансного прохождения звука теория самосогласования волновых полей [1] устанавливает несколько различных областей:

- область простых пространственных резонансов (ПрПР);
- область неполных пространственных резонансов (НПР);
- область полных пространственных резонансов (ППР).

Разделение на данные области зависит от степени согласования волнового поля в ограждении с волновыми полями в воздухе, со стороны шумного и тихого помещений.

Области с различным прохождением звука разделяются соответствующими граничными частотами. На рис. 1 приведена обобщенная частотная характеристика звукоизоляции каркасно-обшивной перегородки с одинарным каркасом.

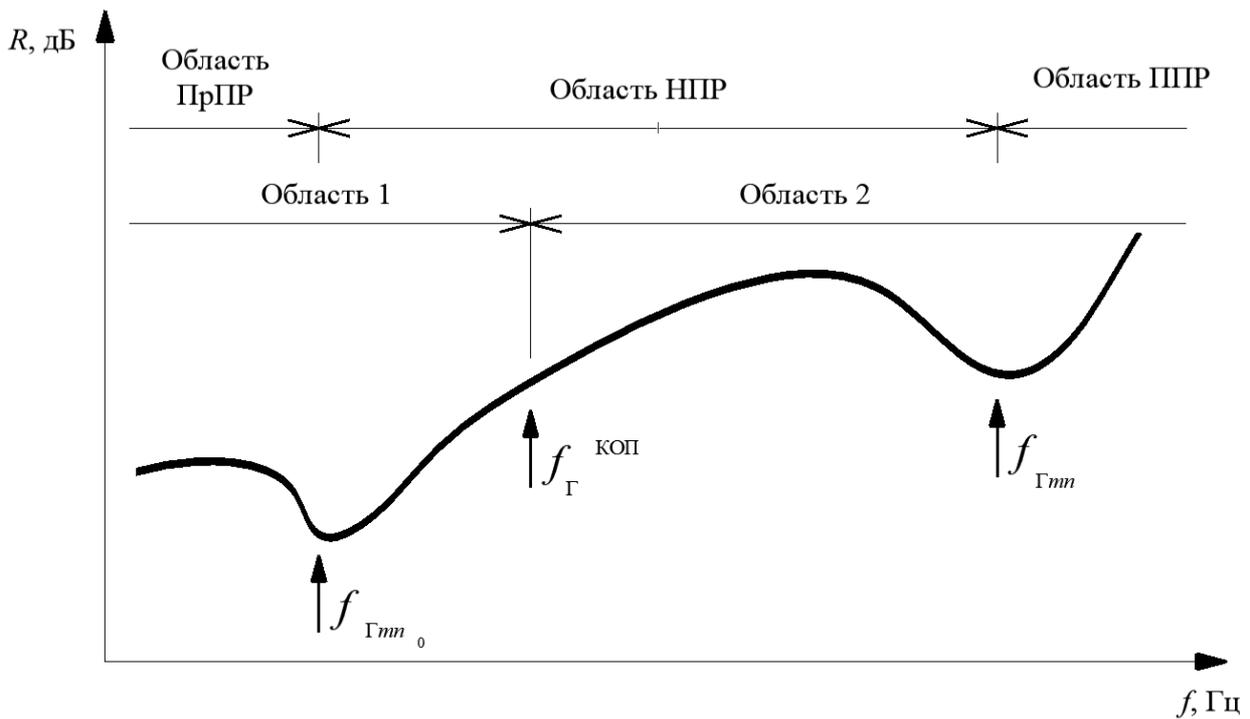


Рис. 1. Обобщенная частотная характеристика звукоизоляции каркасно-обшивной перегородки с одинарным каркасом

### 2.1. Расчет граничной частоты области неполных пространственных резонансов (НПР)

Значение граничной частоты области НПР определяется по формуле [4]:

$$f_{\Gamma m_0} = \frac{c_0 \sqrt{a^2 + 4b^2}}{4ab} + \Delta f_{\Gamma m_0} \quad (3)$$

где  $c_0$  – скорость звука в воздухе, м/с;  $a$  – длина перегородки, м;  $b$  – высота перегородки, м;  $\Delta f_{\Gamma m_0}$  – положительная по знаку поправка до ближайшей большей частоты собственных колебаний обшивок перегородки для диапазона НПР, Гц.

### 2.2. Расчет граничной частоты $f_{\Gamma}^{\text{КОП}}$

Граничная частота  $f_{\Gamma}^{\text{КОП}}$  разделяет нормируемый диапазон частот на две области (см. рис. 1) с различными схемами прохождения звука через каркасно-обшивную перегородку [5]:

1) при  $f < f_{\Gamma}^{\text{КОП}}$  (область 1) падающие звуковые волны вызывают колебания обшивок совместно со стоечными профилями каркаса (перегородку можно рассматривать как условное однослойное ограждение);

2) при  $f > f_{\Gamma}^{\text{КОП}}$  (область 2) падающие звуковые волны вызывают колебания только обшивок, стоечные профили каркаса при этом не смещаются (перегородку можно рассматривать как двойное ограждение).

Значение граничной частоты  $f_{\Gamma}^{\text{КОП}}$  определяется по формуле [5]:

$$f_{\Gamma}^{\text{КОП}} = \frac{8\pi}{l^2} \sqrt{\frac{D}{\mu}}, \quad (4)$$

где  $l$  – шаг стоечных профилей каркаса, м;  $D$  – цилиндрическая жесткость обшивки каркасно-обшивной перегородки, Па·м<sup>3</sup>;  $\mu$  – поверхностная плотность материала обшивки, кг/м<sup>2</sup>.

### 2.3. Расчет граничной частоты области полных пространственных резонансов (ППР)

Значение граничной частоты области ППР определяется по формуле [4]:

$$f_{\Gamma mn} = \frac{c_0^2}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu}{D}} + \Delta f_{\Gamma mn}, \quad (5)$$

где  $\Delta f_{\Gamma mn}$  – положительная по знаку поправка до ближайшей большей частоты собственных колебаний обшивок перегородки для диапазона ППР, Гц;  $c_0$  – то же, что в формуле (3);  $D$ ,  $\mu$  – то же, что в формуле (4),

где

$$\Delta f_{\Gamma mn_0} = \frac{\pi \cdot O_{mn}}{b^2} \sqrt{\frac{D_{\text{ППР}}}{\mu}} \left( n_{\text{Н}} + \frac{O_{mn}}{2} \right), \quad (5.1)$$

$$n_{\text{Н}} = \frac{b}{a} \cdot \sqrt{\frac{c_0 \cdot a \cdot \sqrt{a^2 + 4 \cdot b^2}}{\pi \cdot 2b}} \cdot \sqrt{\frac{\mu}{D_{\text{ППР}}} - 1}, \quad (5.2)$$

где  $O_{mn} = n - n_H$  – нерегулярная ступенчатая функция со значениями от 0 до 1. Здесь  $n$  – целое число, ближайшее большее к  $n_H$ ;  $D_{ПР}$  – приведенная цилиндрическая жесткость перегородки, Па·м<sup>3</sup>.

### 3. Расчет звукоизоляции каркасно-обшивной перегородки

#### 3.1. Расчет звукоизоляции в области простых пространственных резонансов (ПрПП)

Звукоизоляция в области ПрПП ( $f < f_{Гmm0}$ ) определяется по формуле [5]:

$$R = 10 \lg \frac{0,56 \cdot 10^{-4} \mu^2 f^2}{2,61 \cdot F_{И}^2 + 0,096 \cdot \frac{A_{0m_0n_0}^4 + k_{\phi 1}}{\eta}} \quad (6)$$

где  $A_{0m_0n_0}^4$  – характеристика самосогласования для диапазона ПрПП;  $k_{\phi 1}$  – коэффициент формы для диапазона  $f < f_{ГКОП}$ , определяется в зависимости от типа стоечного профиля (см. табл. 3);  $F_{И}$  – функция отклика (см. табл. 4);  $\eta$  – коэффициент потерь материала обшивки;  $f$  – частота звука, Гц;  $\mu$  – суммарная поверхностная плотность обшивок перегородки, кг/м<sup>2</sup>.

Характеристику самосогласования  $A_{0m_0n_0}$  определяем по формуле [1]:

$$A_{0m_0n_0}^2 = \frac{\Delta N_P \cdot m_{ср}^4}{(m_{ср}^2 - m_{0ср}^2)^4}, \quad (7)$$

где

$$m_{ср} = \frac{7,981 \cdot a}{\sqrt[4]{\frac{D_{ПР}}{\mu}} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{a}{b}\right)^2}}; \quad (8)$$

$$m_{0ср} = 0,00411 \cdot f \cdot a; \quad (9)$$

$$\Delta N_P = \Delta f \cdot ab / 2\sqrt{D_{ПР}/\mu}, \quad (10)$$

где  $D_{ПР}$  – приведенная цилиндрическая жесткость перегородки, Па·м<sup>3</sup> (значения – см. табл. 3).

### Значения $k_{\phi 1}$ и $D_{\text{ГР}}$ для различных видов перегородок

Материал обшивки Тип стоечного профиля каркаса	ГВЛ, $h = 12,5$ мм		ЦСП, $h = 16$ мм		ОСП, $h = 12$ мм	
	$k_{\phi 1}$	$D_{\text{ГР}}$	$k_{\phi 1}$	$D_{\text{ГР}}$	$k_{\phi 1}$	$D_{\text{ГР}}$
С-образный (стандартный)	0,04	71,618	0,03	137,755	0,10	43,619
Сигма-образный [5]	0,02	61,364	0,01	123,288	0,08	42,520
Сигма-образный перфорированный [5]	0,03	64,439	0,02	120,000	0,09	40,480

Примечания:

- 1) значения приведены для профилей стальных тонкостенных (толщина стали  $t = 0,6$  мм) с размерами поперечного сечения  $75 \times 48$  мм [6, 7];
- 2) для промежуточных значений  $k_{\phi 1}$  определяется интерполяцией.

## 3.2. Расчет звукоизоляции в области неполных пространственных резонансов (НПР)

### 3.2.1 Расчет звукоизоляции в области 1

Звукоизоляция в области 1 ( $f_{\text{Гм}0} < f < f_{\text{Г}}^{\text{КОП}}$ ) определяется по формуле [5]:

$$R = 10 \lg \frac{0,56 \cdot 10^{-4} \mu^2 f^2}{2,61 \cdot F_{\text{И}}^2 + 0,586 \cdot \frac{A_0^4 + k_{\phi 1}}{\eta}}, \quad (11)$$

где  $A_0^4$  – характеристика самосогласования для диапазона НПР ( $f < f_{\text{Г}}^{\text{КОП}}$ );  $F_{\text{И}}$ ,  $k_{\phi 1}$ ,  $\eta$ ,  $f$ ,  $\mu$  – то же, что в формуле (6).

Характеристику самосогласования  $A_0$  определяем по формуле [1]:

$$A_0^2 = \frac{m_{0\text{max}} \cdot n^2}{(n^2 - n_{0\text{cp}}^2)^2} + \frac{n_{0\text{max}} \cdot m^2}{(m^2 - m_{0\text{cp}}^2)^2}, \quad (12)$$

где

$$m_{0\text{max}} = a \sqrt{\frac{4f^2}{c_0^2} - \frac{1}{b^2}}; \quad n_{0\text{max}} = b \sqrt{\frac{4f^2}{c_0^2} - \frac{1}{a^2}}; \quad (13), (14)$$

$$n_{0cp}^2 = \left( \frac{n_{0max}}{2} \right)^2; \quad m_{0cp}^2 = \left( \frac{m_{0max}}{2} \right)^2; \quad (15), (16)$$

$$n^2 = b^2 \left( \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{\mu}{D_{IP}}} \cdot f - \frac{m_{0cp}^2}{a^2} \right); \quad m^2 = a^2 \left( \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{\mu}{D_{IP}}} \cdot f - \frac{n_{0cp}^2}{b^2} \right). \quad (17), (18)$$

Значения функции отклика  $F_{И}$  в режиме инерционного прохождения звука через перегородку зависят от ее геометрических размеров ( $a$ ,  $b$ ) и от текущей частоты звука ( $f$ ). Значения функции отклика в нормируемом диапазоне частот для различных размеров ограждений можно определить по табл. 4.

Таблица 4

### Значения функции отклика $F_{И}$ для различных перегородок

Третьоктавные полосы со средне- геометрическими частотами, $f$ , Гц	Значения функции отклика при размерах ограждения, $a \times b$ , м				
	3,6 × 2,5	6,0 × 3,0	9,0 × 3,0	9,0 × 4,5	9,0 × 6,0
100	0,942	0,938	0,887	0,898	0,928
125	0,973	0,724	0,746	0,923	0,942
160	0,721	0,987	1,010	0,986	0,882
200	0,930	0,848	0,840	0,893	0,899
250	0,891	1,007	0,968	0,904	0,935
315	0,990	0,964	1,004	0,959	0,991
400	0,917	0,984	0,989	0,961	0,999
500	0,917	0,999	0,939	0,992	0,967
630	0,988	0,958	0,993	0,962	0,976
800	0,939	0,980	0,969	0,978	0,990
1000	0,963	0,986	1,001	0,980	0,993
1250	0,973	0,982	0,991	1,001	0,984
1600	1,001	0,979	0,993	0,986	0,987
2000	0,987	0,982	1,001	0,996	0,992
2500	0,981	0,989	0,987	1,000	1,000
3150	0,985	0,991	1,001	1,000	1,000

### 3.2.2 Расчет звукоизоляции в области 2

Звукоизоляция в области 2 ( $f_{\Gamma}^{\text{КОП}} < f < f_{\Gamma mn}$ ) определяется по формуле [5]:

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau_{\text{п.и.}} + \tau_{\text{п.с.}} + \tau_{1\text{и}}\tau_{2\text{и}} + \tau_{1\text{с}}\tau_{2\text{с}}}, \quad (19)$$

где  $\tau_{\text{п.и.}}$ ,  $\tau_{\text{п.с.}}$ ,  $\tau_{1\text{и}}$ ,  $\tau_{2\text{и}}$ ,  $\tau_{1\text{с}}$ ,  $\tau_{2\text{с}}$  --- коэффициенты прохождения звука через ограждение. Здесь индексы «И», «С» означают инерционное и резонансное прохождение звука, соответственно; индекс «П» --- прохождение звука через обшивки с упругой связью между собой; индексы «1», «2» --- прохождение звука через первую и вторую обшивку, соответственно.

$$\tau_{\text{п.и.}} = \frac{1}{\frac{\pi^2 \mu f^2}{\rho_0^2 c_0^2 F_{1\text{и}}^2} \left( \frac{f^2}{f_0^2} - 1 \right) + 1}, \quad \tau_{\text{п.с.}} = \frac{1}{\frac{\pi^2 \mu f^2}{\rho_0^2 c_0^2 A_0^2} \left( \frac{f^2}{f_0^2} - 1 \right) + 1}, \quad (20), (21)$$

где  $\mu$  – то же, что в формуле (6);  $A_0$  – то же, что в формуле (11);  $F_{1\text{и}}$  – функция отклика первой обшивки, на которую падает звук;  $f_0$  – резонансная частота системы «масса-упругость-масса», Гц;  $\rho_0 c_0$  – характеристический импеданс среды (для воздуха  $\rho_0 c_0 = 420 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$ );

$$f_0 = 60 \sqrt{\frac{\mu_1 + \mu_2}{d \mu_1 \mu_2}}, \quad (22)$$

где  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  – поверхностные плотности обшивок 1 и 2, соответственно,  $\text{кг/м}^2$ ;  $d$  – ширина воздушного промежутка между обшивками, м.

Инерционное прохождение звука через первую обшивку, воздушный промежуток и вторую обшивку определяется следующими коэффициентами [1]:

$$\tau_{1\text{и}} = \frac{1}{\frac{\pi^2 \mu_1^2 f^2 \cos \theta_{\text{ср}}}{\rho_0^2 c_0^2 F_{1\text{и}}^2} + 1}, \quad \tau_{2\text{и}} = \frac{1}{\frac{\pi^2 \mu_2^2 f^2 \cos \theta_2}{\rho_0^2 c_0^2 F_{2\text{и}}^2} + 1}, \quad (23), (24)$$

где  $\theta_{\text{ср}} = 51,75^\circ$  – средний угол падения звуковых волн на перегородку, градусы;  $\theta_2$  – угол падения звуковых волн на вторую обшивку;  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  – то же, что в фор-

муле (22);  $F_{1и}$  – то же, что в формуле (20);  $F_{2и}$  – функция отклика второй обшивки;  $f$  – текущая частота звука, Гц;  $\rho_0 c_0$  – то же, что в формуле (20).

Для каркасно-обшивных перегородок угол падения звуковых волн на вторую обшивку вычисляется как среднее арифметическое углов падения по длинной и короткой стороне ограждения [8]:

$$\theta_2 = \frac{\theta_2' + \theta_2''}{2}, \quad (25)$$

где  $\theta_2'$  – угол падения звуковых волн на вторую обшивку по короткой стороне  $b$ , градусы;  $\theta_2''$  – угол падения звуковых волн на вторую обшивку по длинной стороне  $a$ , градусы.

Коэффициенты резонансного прохождения звука через первую и вторую обшивки, соответственно, равны:

$$\tau_{1с} = \frac{1}{\frac{1,15\pi^3}{8\rho_0^2 c_0^2 A_{01}^4 k_{\phi 2}} \mu_1^2 f^2 \eta_1 \cos^2 \theta_{ср} + 1}, \quad (26)$$

$$\tau_{2с} = \frac{1}{\frac{1,5\pi^3}{8\rho_0^2 c_0^2 A_{02}^4} \mu_2^2 f^2 \eta_2 \cos^2 \theta_2 + 1}, \quad (27)$$

где  $k_{\phi 2}$  – коэффициент формы стоечного профиля каркаса для диапазона  $f > f_{ГКОП}$ , который определяется в зависимости от приведенной податливости ограждения  $T$ , Па·10<sup>3</sup>/м (см. табл. 5);  $\mu_1, \mu_2$  – то же, что в формуле (22);  $A_{01}^4, A_{02}^4$  – характеристики самосогласования для первой и второй обшивок, соответственно;  $\eta_1, \eta_2$  – коэффициенты потерь материалов первой и второй обшивок, соответственно;  $f$  – текущая частота звука, Гц;  $\rho_0 c_0$  – то же, что в формуле (20).

**Значения коэффициента формы стоечного профиля каркаса  $k_{\phi 2}$   
для различных перегородок**

Тип стоечного профиля каркаса	Материал обшивки	ГВЛ, $h = 12,5$ мм	ЦСП, $h = 16$ мм	ОСП, $h = 12$ мм
С-образный (стандартный)		1,47	1,7	1,6
Сигма-образный [5]		0,63	1,3	1,4
Сигма-образный перфорированный [5]		0,69	1,4	1,5

Примечание: для промежуточных значений  $k_{\phi 2}$  определяется интерполяцией/

### 3.3 Расчет звукоизоляции в области полных пространственных резонансов (ППР)

Звукоизоляция в области ППР ( $f > f_{\Gamma mn}$ ) определяется аналогично диапазону НПР, для области  $f > f_{\Gamma}^{\text{КОП}}$  – по формуле (19). Отличие заключается только в определении коэффициентов  $\tau_{1C}$ ,  $\tau_{2C}$ , которые рассчитываются по формулам [1]:

$$\tau_{1C} = \frac{1}{\frac{8\pi^3}{\rho_0^2 c_0^2} \mu_1^2 \frac{f^3}{f_{\Gamma mn}} \eta_1 \cos \theta_{\text{ср}} \sqrt{1 - \frac{f_{\Gamma mn}}{f} + 1}}, \quad (28)$$

$$\tau_{2C} = \frac{1}{\frac{8\pi^3}{\rho_0^2 c_0^2} \mu_2^2 \frac{f^3}{f_{\Gamma mn}} \eta_2 \cos \theta_2 \sqrt{1 - \frac{f_{\Gamma mn}}{f} + 1}}, \quad (29)$$

где  $\rho_0 c_0$  – то же, что в формуле (20);  $\eta_1$ ,  $\eta_2$ ,  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  – то же, что в формулах (26), (27);  $f_{\Gamma mn}$  – граничная частота области ППР (см. формулу (5));  $\theta_{\text{ср}}$ ,  $\theta_2$  – то же, что в формулах (23), (24).

#### 4. Пример расчета звукоизоляции каркасно-обшивной перегородки

Определим частотную характеристику звукоизоляции каркасно-обшивной перегородки размерами 3,6 × 2,5 м. Обшивки из ГВЛ толщиной по 12,5 мм с каждой стороны. Стоечный профиль каркаса С-образный (стандартный), с высотой поперечного сечения 75 мм. Шаг установки стоечных профилей каркаса 0,6 м. Воздушный промежуток между обшивками не заполнен звукопоглощающим материалом.

##### 4.1 Определение исходных параметров перегородки

Таблица 6

##### Характеристики листовых обшивок перегородки

Геометрические размеры	Длина, $a$ , м	3,6
	Ширина, $b$ , м	2,5
	Толщина, $h$ , м	0,0125
Параметры материала	Плотность материала, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1115
	Модуль упругости материала, $E_d$ , Па	$2,95 \cdot 10^9$
	Коэффициент Пуассона материала, $\nu$	0,2
	Коэффициент потерь материала, $\eta$	0,02

Таблица 7

##### Характеристики стоечных профилей каркаса перегородки

Высота поперечного сечения (ширина воздушного промежутка между обшивками), $d$ , м		0,075
Условное однослойное ограждение (область 1, $f < f_1^{\text{КОП}}$ )	Коэффициент формы стоечного профиля каркаса (С-образный), $k_{\text{ф1}}$	0,04
Двойное ограждение (область 2, $f > f_1^{\text{КОП}}$ )	Коэффициент формы стоечного профиля каркаса (С-образный), $k_{\text{ф2}}$	1,47

## 4.2 Расчет физико-механических параметров обшивок перегородки

1) Поверхностная плотность:  $\mu_1 = \mu_2 = 1115 \cdot 0,0125 = 13,94 \text{ кг/м}^2$ .

2) Цилиндрическая жесткость:  $D = \frac{2,95 \cdot 10^9 \cdot 0,0125^3}{12(1 - 0,04)} = 500,15 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$ .

## 4.3 Расчет граничных частот областей прохождения звука через перегородку

### 4.3.1 Расчет граничной частоты области НПР

$$f_{\Gamma mn_0} = \frac{c_0 \sqrt{a^2 + 4b^2}}{4ab} + \Delta f_{\Gamma mn_0} = \frac{343 \sqrt{3,6^2 + 4 \cdot 2,5^2}}{4 \cdot 3,6 \cdot 2,5} + 54 = 74,5 \text{ Гц.}$$

Округляем полученное значение до ближайшей среднегеометрической частоты:  $f_{\Gamma mn_0} = 80 \text{ Гц}$ .

### 4.3.2 Расчет граничной частоты $f_{\Gamma}^{\text{КОП}}$

$$f_{\Gamma}^{\text{КОП}} = \frac{8\pi}{l^2} \sqrt{\frac{D}{\mu}} = \frac{8 \cdot 3,14}{0,6^2} \sqrt{\frac{500,15}{13,94}} = 418 \text{ Гц.}$$

Округляем полученное значение до ближайшей среднегеометрической частоты:  $f_{\Gamma}^{\text{КОП}} = 400 \text{ Гц}$ .

### 4.3.3 Расчет граничной частоты области ППР

$$f_{\Gamma mn} = \frac{c_0^2}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu}{D}} + \Delta f_{\Gamma mn} = \frac{343^2}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{13,94}{500,15}} = 3142 \text{ Гц.}$$

Округляем полученное значение до ближайшей среднегеометрической частоты:  $f_{\Gamma mn} = 3150 \text{ Гц}$ .

## 4.4 Расчет звукоизоляции перегородки

При определении граничных частот областей прохождения звука было установлено, что граничная частота  $f_{\Gamma mn_0} = 80 \text{ Гц}$  находится ниже границы нор-

мируемого диапазона частот (100 Гц). Поэтому расчет звукоизоляции начинаем с области неполных пространственных резонансов (НПР).

#### 4.4.1 Расчет звукоизоляции в области НПР, область 1 ( $f_{Гmn0} < f < f_{Г}^{КОП}$ )

Согласно формуле (11) для определения звукоизоляции в области НПР необходимо вычислить значения характеристики самосогласования волновых полей в режиме резонансного прохождения звука ( $A_0$ ) и функцию отклика в режиме инерционного прохождения звука ( $F_{И}$ ). Характеристики  $k_{Ф1}$ ,  $\mu$ ,  $\eta$  определены на этапе записи исходных параметров перегородки (см. табл. 6, 7).

Для области НПР (100 – 315 Гц) по формулам (12) – (18) вычисляем характеристику самосогласования  $A_0$  (см. табл. 8). Значения функции отклика  $F_{И}$  принимаем по табл. 4.

Таблица 8

#### Результаты вычисления характеристики самосогласования волновых полей

Третьоктавные полосы со среднегеометрическими частотами, $f$ , Гц	$n^2$	$m^2$	$n_{0cp}^2$	$m_{0cp}^2$	$m_{0max}$	$n_{0max}$	$A_0^2$
100	264,1302	546,8488	0,4107	0	0	1,2817	0,0023
125	330,1628	683,1543	0,7095	0	0	1,6846	0,0025
160	421,4984	873,7506	1,2394	2,3016	3,0342	2,2266	0,0098
200	526,3855	1091,2445	2,0044	3,8879	3,9436	2,8315	0,0102
250	657,2553	1362,6161	3,1997	6,3665	5,0464	3,5775	0,0104
315	826,9889	1714,5758	5,1507	10,4120	6,4535	4,5390	0,0106

Подставляя полученные данные в формулу (11), вычисляем значения звукоизоляции (см. табл. 9).

Таблица 9

**Результаты вычисления звукоизоляции перегородки  
в области НПР, область 1**

Третьоктавные полосы со средне-геометрическими частотами, $f$ , Гц	$R$ , дБ
100	28,1
125	30,0
160	32,3
200	34,1
250	36,1
315	38,0

4.4.2 Расчет звукоизоляции в области НПР, область 2 ( $f_{\Gamma}^{\text{КОП}} < f < f_{\Gamma mn}$ )

Для данной области определяем звукоизоляцию по формуле (19). Значения коэффициентов прохождения звука и результат расчета представлены табл. 10.

Таблица 10

**Результаты вычисления коэффициентов прохождения звука и звукоизоляции перегородки в области НПР, область 2**

Третьоктавные полосы со средне-геометрическими частотами, $f$ , Гц	$\tau_{\text{ПИ}}$	$\tau_{\text{ПС}}$	$\tau_{\text{ИИ}}$	$\tau_{\text{И}}$	$\tau_{\text{IC}}$	$\tau_{\text{IC}}$	$R$ , дБ
400	$8,37 \cdot 10^{-7}$	$4,43 \cdot 10^{-12}$	$1,26 \cdot 10^{-3}$	0,159	$6,99 \cdot 10^{-4}$	$3,82 \cdot 10^{-2}$	36,4
500	$2,13 \cdot 10^{-7}$	$1,28 \cdot 10^{-12}$	$8,05 \cdot 10^{-4}$	0,124	$4,76 \cdot 10^{-4}$	$2,64 \cdot 10^{-2}$	39,5
630	$6,07 \cdot 10^{-8}$	$3,65 \cdot 10^{-13}$	$5,89 \cdot 10^{-4}$	$7,14 \cdot 10^{-2}$	$3,24 \cdot 10^{-4}$	$1,81 \cdot 10^{-2}$	43,2
800	$1,29 \cdot 10^{-8}$	$1,05 \cdot 10^{-13}$	$3,30 \cdot 10^{-4}$	$4,68 \cdot 10^{-2}$	$2,22 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-2}$	47,4
1000	$3,53 \cdot 10^{-9}$	$3,44 \cdot 10^{-14}$	$2,22 \cdot 10^{-4}$	$3,41 \cdot 10^{-2}$	$1,60 \cdot 10^{-4}$	$9,00 \cdot 10^{-3}$	50,5
1250	$9,41 \cdot 10^{-10}$	$1,22 \cdot 10^{-14}$	$1,45 \cdot 10^{-4}$	$2,21 \cdot 10^{-2}$	$1,19 \cdot 10^{-4}$	$6,72 \cdot 10^{-3}$	54,0
1600	$2,26 \cdot 10^{-10}$	$4,37 \cdot 10^{-15}$	$9,38 \cdot 10^{-5}$	$1,37 \cdot 10^{-2}$	$9,13 \cdot 10^{-5}$	$5,16 \cdot 10^{-3}$	57,5
2000	$5,75 \cdot 10^{-11}$	$5,13 \cdot 10^{-15}$	$5,84 \cdot 10^{-5}$	$8,73 \cdot 10^{-3}$	$1,24 \cdot 10^{-4}$	$6,99 \cdot 10^{-3}$	58,6
2500	$1,48 \cdot 10^{-11}$	$1,46 \cdot 10^{-14}$	$3,69 \cdot 10^{-5}$	$5,60 \cdot 10^{-3}$	$2,61 \cdot 10^{-4}$	$1,46 \cdot 10^{-2}$	54,0

#### 4.4.3 Расчет звукоизоляции в области ППР ( $f > f_{Гmn}$ )

Для данной области определяем звукоизоляцию по формуле (19) с учетом формул (28), (29). Значения коэффициентов прохождения звука и результат расчета представлены табл. 11.

Таблица 11

#### Результаты вычисления коэффициентов прохождения звука и звукоизоляции перегородки в области НПР

Третьоктавные полосы со средне-геометрическими частотами, $f$ , Гц	$\tau_{п.и.}$	$\tau_{п.с.}$	$\tau_{1и}$	$\tau_{2и}$	$\tau_{1с}$	$\tau_{2с}$	$R$ , дБ
3150	$3,73 \cdot 10^{-12}$	$3,85 \cdot 10^{-12}$	$2,34 \cdot 10^{-5}$	0,00347	0,0033	0,039	38,9

#### 4.5 Построение частотной характеристики звукоизоляции перегородки

Результаты расчета звукоизоляции в областях НПР и ППР сведены в табл. 12. На основании этих данных строим частотную характеристику звукоизоляции каркасно-обшивной перегородки с одинарным каркасом в нормируемом диапазоне частот (см. рис. 2).

### Результаты расчета звукоизоляции перегородки в нормируемом диапазоне частот

Третьоктавные полосы со среднегеометрическими частотами, $f$ , Гц	$R$ , дБ
100	28,1
125	30,0
160	32,3
200	34,1
250	36,1
315	38,0
400	36,4
500	39,5
630	43,2
800	47,4
1000	50,5
1250	54,0
1600	57,5
2000	58,6
2500	54,0
3150	38,9

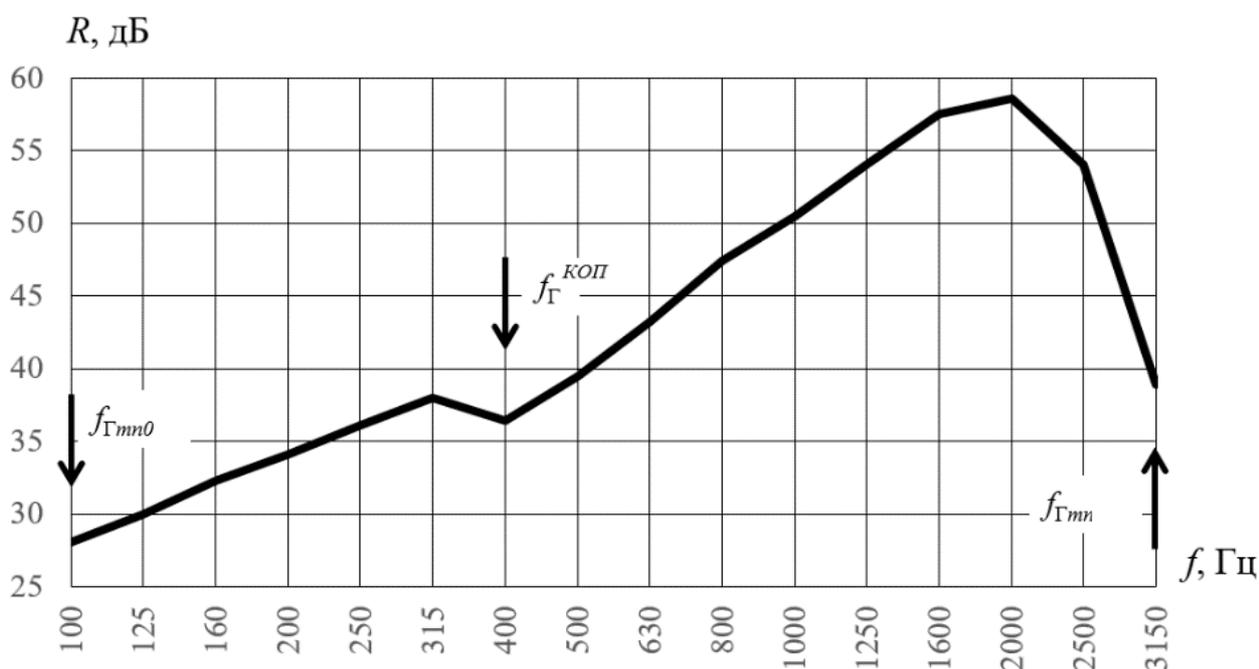


Рис. 2. Частотная характеристика звукоизоляции каркасно-обшивной перегородки с одинарным каркасом ( $a \times b = 3,6 \times 2,5$  м), обшивки из ГВЛ толщиной по 12,5 мм с каждой стороны, ширина воздушного промежутка 75 мм, без заполнения звукопоглощающим материалом

## Литература

1. Седов М. С. Звукоизоляция / Техническая акустика транспортных машин: справочник / Под ред. Н. И. Иванова. – СПб: Политехника, 1992. – Гл.4. – С. 68–106.
2. Осипов Г. Л., Бобылев В. Н., Борисов Л. А. и др. Звукоизоляция и звукопоглощение: учеб. пособие для студентов вузов / Под ред. Г. Л. Осипова, В. Н. Бобылева. – М.: ООО «Издательство АСТ»: ООО «Издательство Астрель», 2004. – 450 с.
3. Бобылев В. Н., Мониц Д. В., Тишков В. А., Гребнев П. А. Резервы повышения звукоизоляции однослойных ограждающих конструкций / Монография. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2014. – 118 с.
4. Седов М.С. Проектирование звукоизоляции: Конспект лекций. – Горький: Изд-во ГГУ, 1980. – 54 с.
5. Дымченко В. В. Звукоизоляция каркасно-обшивных перегородок с одинарным каркасом: автореф. дис. канд. техн. наук / В. В. Дымченко – М.: 2019. – 21 с.
6. Звукоизолирующие системы SAINT-GOBAIN для гостиниц, офисов и кинотеатров. Альбом инженерных решений. Каталог: разработчик и производитель ООО «Сен-Гобен Строительная продукция Рус» совместно с ООО «Акустик Групп». – М.: 2017. – 113 л.
7. Комплектные системы КНАУФ. Перегородки поэлементной сборки из гипсовых строительных плит (КНАУФ-листов) на металлическом и деревянном каркасах для жилых, общественных и производственных зданий. [Текст] : каталог : разработчик ООО «Стройпроект-XXI» – М.: 2015. – 94 л.
8. Гребнев, П. А. Звукоизоляция ограждающих конструкций зданий из сэндвич-панелей: автореф. дис. канд. техн. наук / П. А. Гребнев – Н. Новгород, 2016. – 21 с.

Бобылев Владимир Николаевич  
Дымченко Владимир Викторович  
Монич Дмитрий Викторович

Расчет звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок  
с одинарным каркасом

Учебное пособие

Подписано в печать 03.02.2020г. Формат 60х90 1/16 Бумага газетная. Печать трафаретная.  
Уч. изд. л. 1,2. Усл. печ. л. 1,4. Тираж 300 экз. Заказ №

---

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.  
Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65  
<http://www.nngasu.ru>, [srec@nngasu.ru](mailto:srec@nngasu.ru)