

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕНОСНОГО АКУСТИЧЕСКОГО ЭКРАНА

А. Н. Скворцов, А. П. Савельев, С. В. Глотов
ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

Одной из актуальных проблем современной экологии является исследование воздействия неблагоприятных факторов среды жизни на физическое развитие и здоровье населения. В статье рассматриваются вопросы, затрагивающие одну из наиболее актуальных проблем современного мира, – загрязнение окружающей среды производственным шумом. Шум является одним из значительных факторов негативного воздействия на человека и окружающую среду, поскольку производственные объекты почти повсеместно оснащены шумящим оборудованием. При этом совместное воздействие шума и других физических факторов на человека может привести к усилению их негативного эффекта. Если уровень энергии шума превышает предельно допустимый уровень (ПДУ), то проводятся шумозащитные мероприятия. Наиболее распространенными проектными решениями в этой области в настоящее время являются звукопоглощающие конструкции, шумозащитные экраны и барьеры, звукоизолирующие кожухи, звукоизолирующие кабины. Одни из них пользуются спросом, другие менее известны. В данной статье рассматривается одно из наиболее распространенных средств защиты от шума – переносной акустический экран. Целью исследования является определение эффективности его звукозащитных свойств. Авторами предлагается вариант акустического экрана, отличающийся от уже используемых легкостью, мобильностью, минимальной ценой и хорошими звукозащитными свойствами. Расчетным путем была произведена оценка акустической эффективности, коэффициента звукопоглощения, коэффициента звукопроводности переносного акустического экрана. Описание алгоритма расчетов и сочетание технических решений обладают практической новизной. Статья имеет исследовательский характер. Итоги исследований указанные в графическом виде, наглядно демонстрируют преимущества предложенного решения снижения уровня шума на объектах агропромышленного комплекса.

Ключевые слова: шум, акустический экран, охрана труда, акустическое загрязнение, звукозащитный материал, оборудование, конструкция

Для цитирования: Скворцов А. Н., Савельев А. П., Глотов С. В. Расчет эффективности переносного акустического экрана // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 1. С. 58–69. doi: 10.15507/0236-2910.026.201601.058-069

CALCULATION OF ACOUSTIC EFFICIENCY OF PORTABLE ACOUSTIC SCREEN

A. N. Skvortsov, A. P. Savelyev, S. V. Glotov
Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia)

The research of influence of life environment adverse factors on physical development and health of population is an actual problem of ecology. The aspects of the most actual problems of the modern world, namely environmental industrial noise pollution are considered in the article. Industrial facilities everywhere have noisy equipment. Noise is a significant factors of negative influence on people and environment. Combined effects of noise and of other physical pollutions on people may cause amplification of their negative impact. If the noise pollution level from the object in a residential area exceeds



the permissible levels (MPL), noise protection measures can be initiated. Today, the most common design decisions for noise protection are sound absorbing construction, noise screens and barriers, acousting housings, soundproof cabins. Many of them are popular, others are less known. The article deals with one of the most wide spread means of noise protection – a portable acoustic screen. The aim of the research is to determine the efficiency of portable acoustic screens. It is shown that the installation of such structures can reduce the average value of the sound level. The authors analyzed acoustic screens as device to reduce noise pollution. The authors offer a portable acoustic screen differing from the used easyness, mobility, minimum price and good sound protective properties. Effectiveness, a sound absorption coefficient and sound conductivity coefficient of a portable acoustic screen are evaluated. The descriptions of the algorithm calculations and the combination of technical solutions have practical originality. The results of the research demonstrate the advantages of the proposed solutions for reducing noise levels in the agro-industrial complex.

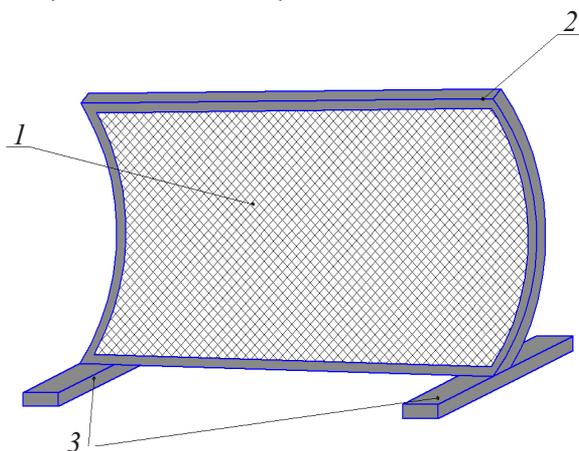
Keywords: noise, sound baffle, labor protection, noise pollution, equipment, design

For citation: Skvortsov AN, Savelyev AP, Glotov SV. Calculation of acoustic efficiency of portable acoustic screen. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 1(26):58-69. doi: 10.15507/0236-2910.026.201601.058-069

Известно, что в быту и промышленности существуют процессы, которые сопровождаются нежелательными шумами и звуками, что предполагает необходимость защиты от них. На ряде промышленных объектов (таких как объекты сельского хозяйства, нефтегазовой отрасли, транспорта и т. д.) проблема такой защиты стоит особенно остро. Вопросам, связанным с данным явлением, посвящены многие работы следующих отечественных и зарубежных ученых: В. И. Заборова, И. И. Ключкина, С. Д. Ковригина, А. Е. Колесникова, Г. Л. Осипова,

М. С. Седова, О. Е. Соломатина, Н. В. Тюриной, П. В. Мурзинова, Е. Е. Аденинской, Н. И. Иванова, В. Ф. Асминина, Л. А. Борисова, М. Azizi, Y. F. Chou, J. S. Lai, H. W. Kuo, M. Bogerl, A. Branco, A. Ottoni, Z. Torabi, Ed. Malcom, J. Crocker, C. Hopkins, B. Giinel, H. Nacihaboglu, A. Kondoz, T. J. Cox, P. D'Antonio и т. д. [1–2; 4–5; 7; 11; 13–25].

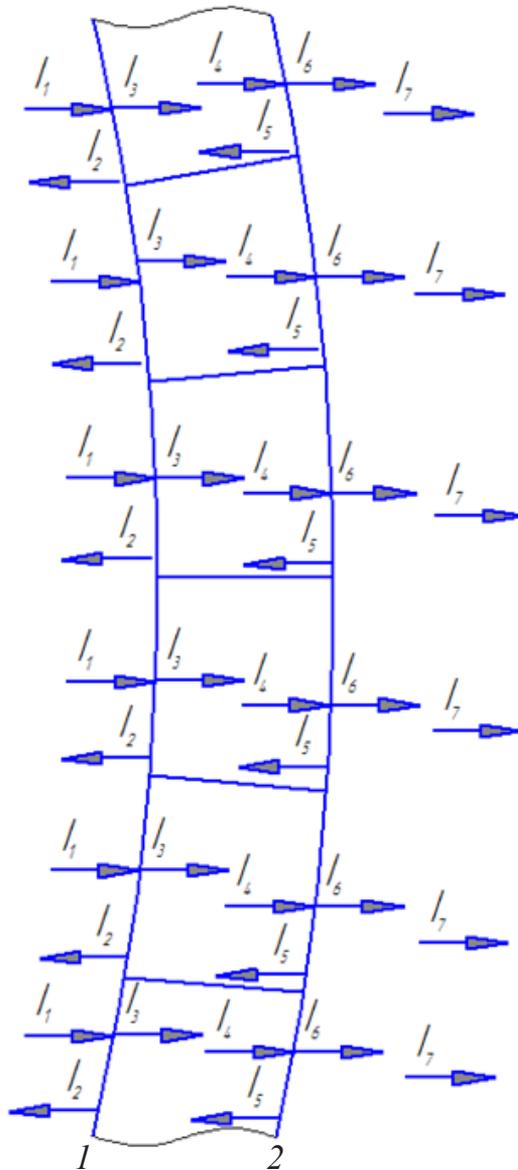
Данная статья посвящена расчету акустической эффективности сложной конструкции предлагаемого переносного акустического экрана (АЭ) (рис. 1), используемого в производственном помещении.



Р и с. 1. Переносной акустический экран (1 – акустический материал; 2 – каркас АЭ; 3 – стойки АЭ)

F i g. 1. Portable acoustic screen (1 – acoustic material; 2 – frame baffle; 3 – stands baffle)

Устройство представляет собой торый устанавливается акустический каркас, изготовленный из прямо- угольных алюминиевых труб, в ко- на рис. 2).



Р и с. 2. Акустический материал (обозначения потоков: I_1, I_4 – поток падения звуковой энергии на листы 1, 2; I_2, I_3 – отраженный от листов 1, 2 поток звуковой энергии; I_3, I_6 – поток звуковой энергии, прошедший через листы 1, 2; I_7 – поток звуковой энергии, ушедшей с листа 2)

F i g. 2. Acoustic material (designate flow: I_1, I_4 – sound energy flux falling on the sheets 1, 2; I_2, I_3 – reflected on sheets 1, 2 flow of sound energy; I_3, I_6 – the flow of sound energy passing through the sheets 1, 2; I_7 – the flow of sound energy from a bygone sheet 2)

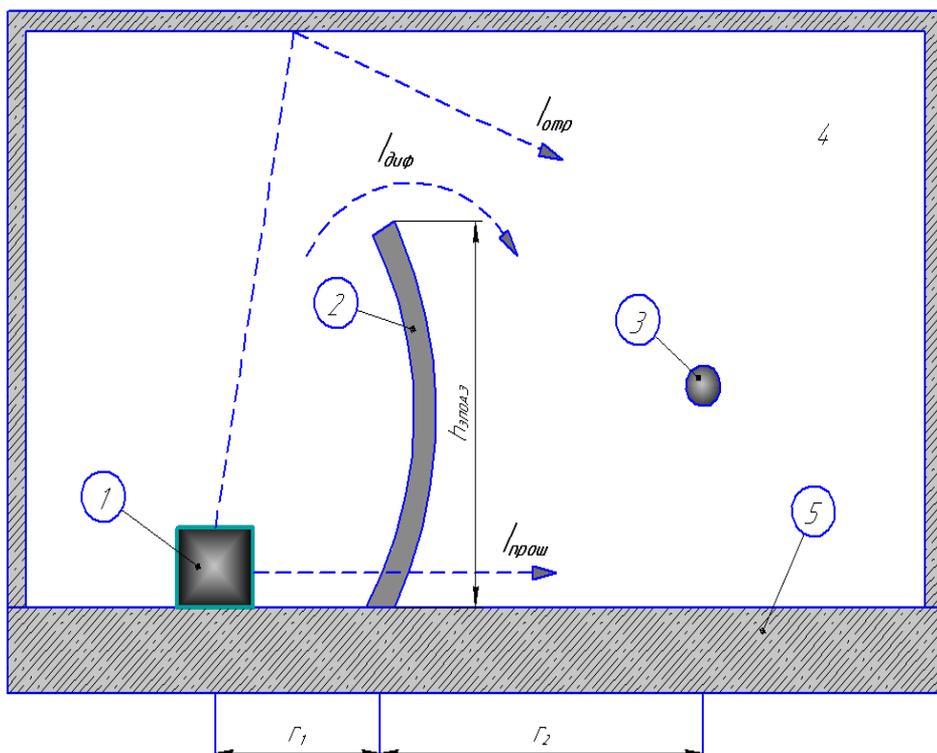


Как видно из рис. 2, на схеме акустического материала выделяется два листа – тонкие соединенные параллельно друг другу пластины.

Отличительной особенностью производственного АЭ является его расположение в замкнутом пространстве, где кроме прямого звука имеются множественные отраженные звуковые поля. Источники шума, находящиеся в помещении, как правило, характеризуются небольшими размерами, поэтому их можно аппроксимировать как точечные источники сферических звуковых волн. Как уже было отмечено, в производственных помещениях наблюдается множественные отражения, поэтому эффективность АЭ, применяемых в замкнутых пространствах, резко снижается: на рабочих местах,

защищаемых производственными АЭ, наблюдается не только дифрагированный звук, огибающий свободные ребра экрана, но и многократные отражения от стен и находящихся в помещении предметов. Таким образом, достигнуть наибольшего эффекта от АЭ возможно только при его максимально близкой установке к источнику шума. Однако при этом в случае недостаточной звукоизоляции АЭ звуковая энергия проходит через экран [14].

Расчетная схема производственного переносного АЭ, учитывающая его близкое расположение к источнику шума, представлена на рис. 3. В математической модели учтены также акустические свойства переносного АЭ, расположенного в производственном помещении [Там же].



Р и с. 3. Расчетная схема переносного АЭ в производственном помещении (1 – источник шума; 2 – переносной АЭ; 3 – рабочая точка; 4 – помещение; 5 – опорная поверхность)

F i g. 3. Analytical model of portable acoustic screen in the workplace (1 – noise source; 2 – portable baffle; 3 – operating point; 4 – room; 5 – bearing surface)

Расчитаем эффективность переносного АЭ по формуле, полученной Н. В. Тюриной [Там же].

$$\Delta L_{\text{ПАЭ}}^{\text{room}} = 10 \lg \left(\frac{E_{\text{1st}}}{2\pi(r_1+r_2)^2} + \frac{4}{B_{\text{room}} \cdot \psi_{\text{room}}} \right) - 10 \lg \left[\begin{aligned} & \frac{4}{B_{\text{room}} \cdot \psi_{\text{room}}} + \frac{E_{\text{1st}}(1-\alpha_{\text{screen}}) \cdot \tau_{\text{screen}}}{2\pi^2 r_1^2} \cdot \\ & \cdot \operatorname{arctg} \cdot \frac{h_{\text{screen}} \cdot b_{\text{screen}}}{2\pi^2 r_2 \sqrt{4r_2^2 + h_{\text{screen}}^2 + b_{\text{screen}}^2}} + \\ & + \frac{E_{\text{1st}} \beta_{\text{diffraction}} (1-\alpha_{M@}) \lambda}{2\pi^3 r_1^2 h_{\text{screen}} r_2} \cdot \operatorname{arctg} \cdot \\ & \cdot \frac{b_{\text{screen}}}{2h_{\text{screen}}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{b_{\text{screen}}}{2r_2} \end{aligned} \right],$$

где E_{1st} – коэффициент, учитывающий размеры ИШ; τ_{screen} – коэффициент звукопроводности АЭ; B_{room} – акустическая постоянная помещения, m^2 ; ψ_{room} – коэффициент, учитывающий неравномерность звукового поля в помещении; b_{screen} – ширина АЭ, м; $\beta_{\text{diffraction}}$ – коэффициент дифракции АЭ, рассчитываемый по формуле [5]:

$$\beta_{\text{diffraction}} = \frac{I_{\text{diffraction}}}{I_{\text{drops}}}, \quad (2)$$

где $I_{\text{diffraction}}$ – интенсивность звука, дифрагирующего на свободном ребре; $I_{\text{drops}}^{\text{screen}}$ – интенсивность звука, падающего на поверхность АЭ.

Для определения коэффициента поглощения переносного АЭ необходимо рассчитать отношение интенсивности поглощенного в конструкции звука к интенсивности падающего потока звуковой энергии. Для этого воспользуемся соотношением [Там же]:

$$\alpha = \frac{I_{\text{absorption}}}{I_{\text{drops}}}, \quad (3)$$

где I_{drops} – интенсивность падающего звука; I_{absorbed} – интенсивность поглощенного звука.

Принимая во внимание все звуковые потоки, изображенные на рис. 2, подставим необходимые значения в формулу (3):

$$\alpha = \frac{I_{n_1} + I_5 + I_{n_2}}{I_1}, \quad (4)$$

Плотность отраженной звуковой энергии определяется следующим образом [6]:

$$I_{\text{reflected}} = I_{\text{drops}} (1-\tau), \quad (5)$$

где I_{drops} – интенсивность падающего звука; τ – коэффициент звукопроводности материала.

При диффузном падении звуковой волны применим преобразованную формулу Пэриса [7]:

$$\tau = \frac{\ln(1+Q^2)}{Q^2}, \quad (6)$$

где $Q = \frac{\rho \cdot \delta \cdot f}{\rho_0^c}$ – безразмерный комплекс; $f = \frac{c}{\lambda}$ – частота, Гц; m_p – поверхностная плотность листового материала, $\text{кг}/\text{м}^2$; ρ – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; c – скорость звука в воздухе, м/с.



Отношение интенсивности прошедшего звука к интенсивности падающего звука называется коэффициентом звукопроводности, который вычисляется по формуле [9]:

$$\tau = I_{held} / I_{drops} \quad 8; 8 \quad I_{held} = I_{drops} \cdot \tau. \quad (7)$$

Отраженный поток I_2 от листа 1 определяем по следующей формуле [10]:

$$I_2 = I_1 - I_3 = I_1 - I_1 \cdot \tau = I_1(1 - \tau), \quad (8)$$

где $I_3 = I_1 \cdot \tau$ – звуковая энергия, прошедшая через лист 1 (5).

Потеря I_n на демпфирование окружающим воздухом рассчитывается по формуле (7) [5]:

$$I_n = I_3 \cdot \varepsilon, \text{ откуда } I_n = I_1 \cdot \tau \cdot \varepsilon \quad (9)$$

где ε – коэффициент звукопоглощения (10).

Поток звука, падающий на лист, заставляет его колебаться, что приводит к демпфированию окружающим воздухом и переходом части звуковой энергии в тепловую. Учитывая, что при этих условиях потеря звуковой энергии пропорциональна теоретическому количеству прошедшей энергии, используем коэффициент звукопоглощения [7]:

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\left(\frac{4}{3}\alpha + \frac{2}{3}Q\right)^2}}} = \frac{I_v}{I_{np}}$$

или

$$I_v = I_{np} \varepsilon, \quad (10)$$

где I_v – энергия диссипации; α – коэффициент звукопоглощения материала; м/с; Q, f, m_p, ρ, c – то же, что в формуле (6).

Определим интенсивность звукового потока, падающего на лист 2, пользуясь формулами (8–9) [9]:

$$I_4 = I_3 - I_n = I_1 \cdot \tau - I_1 \cdot \tau \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau(1 - \varepsilon). \quad (11)$$

Определим интенсивность звукового потока, отраженного от листа 2, пользуясь формулами (11; 13) [Там же]:

$$I_5 = I_4 - I_6 = I_1 \cdot \tau(1 - \varepsilon) - I_1 \cdot \tau^2(1 - \varepsilon) = I_1 \cdot \tau^2(1 - \varepsilon). \quad (12)$$

Прошедший через лист 2 звуковой поток определяется в соответствии с выражением (5) [2]:

$$I_6 = I_4 \cdot \tau = I_1 \cdot \tau^2(1 - \varepsilon). \quad (13)$$

Рассчитаем потерю на демпфирование окружающим воздухом по формуле (7) [10]:

$$I_{n_2} = I_6 \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^2(1 - \varepsilon) \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^2 \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \varepsilon. \quad (14)$$

Определим интенсивность звукового потока, падающего на лист 3, пользуясь выражениями (13–14) [Там же]:

$$I_7 = I_6 - I_{n_2} = I_1 \cdot \tau^2(1 - \varepsilon) - I_1 \cdot \tau^2(1 - \varepsilon)\varepsilon = I_1 \cdot \tau^2(1 - \varepsilon)^2. \quad (15)$$

Подстановка полученных значений в формулу (7) позволяет определить коэффициент звукопроницаемости звукозащитного материала:

$$\tau = \frac{I_7}{I_1} = \frac{I_1 \cdot \tau^2 \cdot (1 - \varepsilon)^2}{I_1} = \tau^2 \cdot (1 - \varepsilon)^2. \quad (16)$$

Подставив найденные значения в формулу (4), определим коэффициент звукопоглощения передвижного АЭ:



$$\alpha = \tau \cdot \varepsilon + \tau^2 \cdot (1 - \varepsilon) + \tau^2 \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \varepsilon. \quad (17)$$

$$\alpha = \tau \cdot (\varepsilon^2 \cdot (-\tau) + \varepsilon + \tau). \quad (18)$$

Упростив выражение, получим:

Подставим необходимые значения в формулу (18):

$$\alpha = \frac{\ln(1+Q^2)}{Q^2} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\left(\frac{4}{3}\alpha + \frac{2}{3}Q\right)^2}}} \cdot \left(-\frac{\ln(1+Q^2)}{Q^2} \right) + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\left(\frac{4}{3}\alpha + \frac{2}{3}Q\right)^2}}} + \frac{\ln(1+Q^2)}{Q^2} \right).$$

Подставляя цифровые значения в полученные формулы, найдем $\alpha_{ПАЭ}, \tau_{ПАЭ}, \Delta L_{ПАЭ}^{room}$. Результаты вычислений представлены в таблице, а также на графиках (рис. 4–5).

Таблица 2

Table 2

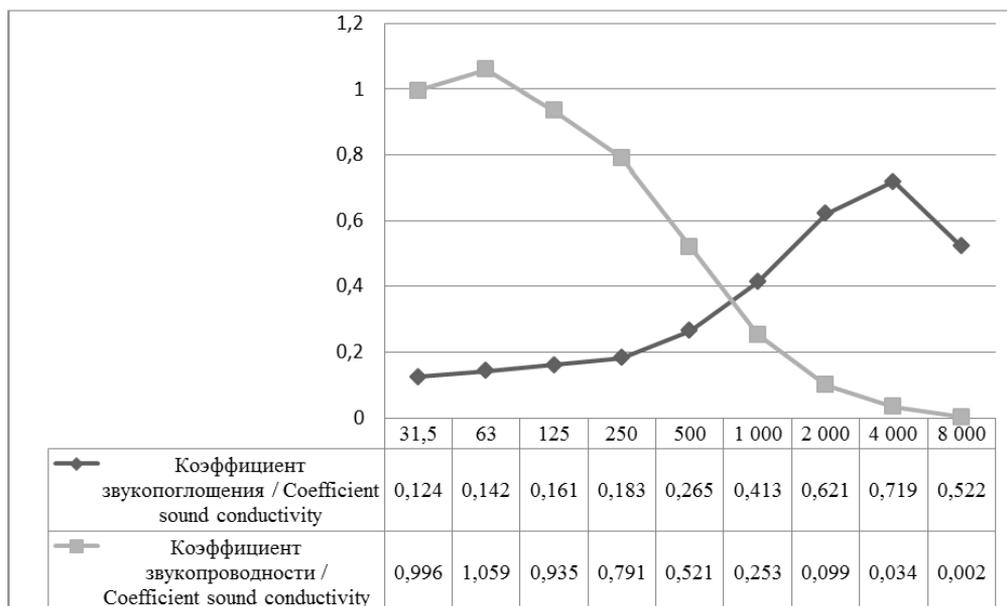
Коэффициент звукопоглощения, коэффициент звукопроводности, акустическая эффективность переносного АЭ

Sound absorption coefficient of sound conductivity, acoustic efficiency of portable acoustic screen

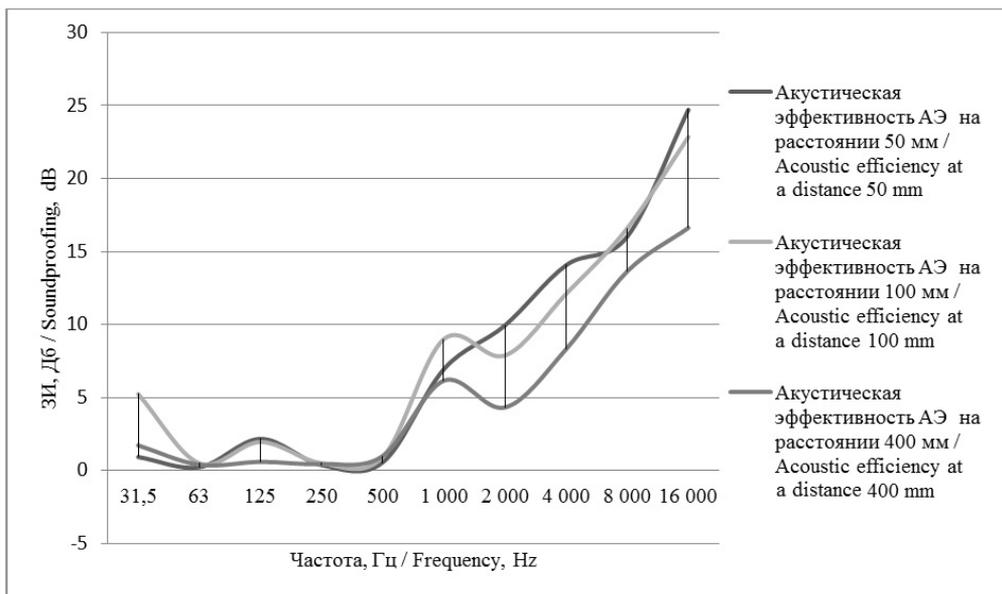
	Частота, Гц / Frequency, Hz								
	31,5	63,0	125,0	250,0	500,0	1 000,0	2 000,0	4 000,0	8 000,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент звукопоглощения / Sound absorption coefficient	$\alpha_{ПАЭ}$								
Материал – полистирол / Material – polystyrene	0,124	0,142	0,161	0,183	0,265	0,413	0,621	0,719	0,522
Коэффициент звукопроводности / Coefficient sound conductivity	$\tau_{ПАЭ}$								



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Материал – полистирол / Material – polystyrene	0,996	1,059	0,935	0,791	0,521	0,253	0,099	0,034	0,002
Акустическая эффективность АЭ / Acoustic efficiency NPP	$\Delta L_{ПАЭ}^{room}$								
Полистирол / Polystyrene (50 мм)	0,93	0,23	2,17	0,38	0,56	6,94	9,94	14,06	16,02
Полистирол / Polystyrene (100 мм)	5,24	0,5	1,96	0,5	0,92	9	7,88	12,1	16,59
Полистирол / Polystyrene (400 мм)	1,73	0,4	0,6	0,45	1	6,16	4,32	8,31	13,64



Р и с. 4. Коэффициент звукопроводности и коэффициент звукопоглощения переносного АЭ
F i g. 4. The sound conductivity coefficient and sound absorption coefficient of a portable acoustic screen



Р и с. 5. Акустическая эффективность переносного АЭ

F i g. 5. Acoustic efficiency of portable acoustic screen

В спектре 2 000–16 000 Гц, наблюдается снижение уровня шума на расстоянии:

- 1) 50 мм (от 9,94–24,71 дБ);
- 2) 100 мм (от 7,88–22,85 дБ);
- 3) 400 мм (от 4,32–16,62 дБ).

Переносной АЭ предполагается изготавливать из полимерных упругих тонких листов, производство которых не представляет значительных трудностей. Обла-

дая сравнительно небольшой толщиной (порядка нескольких сантиметров) в сочетании с высокими звукоизолирующими свойствами, описанный экран может быть использован в условиях ограниченного пространства, где необходимо обеспечить достаточное снижение шума. Таким образом, переносной АЭ обогатит спектр решений по улучшению условий труда и жизни человека.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шубин И. Л. Акустический расчет и проектирование конструкций шумозащитных экранов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2011. 47 с. URL: <http://test.vak.ed.gov.ru/common/img/uploaded/files/SHubinIL.pdf>.
2. Афанасьева Р. Ф. Сочетанное действие факторов производственной и окружающей сред на организм человека (аналитический обзор) // Бюл. науч. совета «Медико-экологические проблемы работающих». 2005. № 2. С. 58–70. URL: <http://sci-pub.info/ref/5489378>.
3. Колосов Ю. В., Барановский В. В. Защита от вибраций и шума на производстве : учеб. пособие. СПб : СПбГУ ИТМО, 2011. 38 с. URL: <http://books.ifmo.ru/file/pdf/826.pdf>.
4. Шишелова Т. И., Малыгина Ю. С., Нгуен С. Д. Влияние шума на организм человека // Успехи современного естествознания. 2009. № 8. С. 14–15. URL: <http://www.rae.ru/use/pdf/2009/8-S/9.pdf>.
5. Иванов Н. И. Инженерная акустика: теория и практика борьбы с шумом. М. : Логос, 2008. 422 с. URL: http://fictionbook.ru/pages/download_prew/?file=408272.



6. **Мансурова А. Ф.** Последствия санкций США и ЕС для Российской экономики // Электронный периодический научный журнал «SCI-ARTICLE.RU». 2014. № 14. С. 228–230. URL: <http://sci-article.ru/stat.php?i=1414051758>.

7. **Мурзинов П. В.** Разработка звукоподавляющих облепленных структурированных панелей с заданными акустическими характеристиками : автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб, 2011. 16 с. URL: <http://www.eltech.ru/assets/files/nauka/dissertacii/2011/MurzinovPV.pdf>.

8. Поведение интенсивных акустических шумов на больших расстояниях / С. Н. Гурбатов [и др.] // Акустический журнал. 2007. Т. 53, № 1. С. 55–72. URL: http://www.akzh.ru/pdf/2007_1_55-72.pdf.

9. **Савельев А. П., Скворцов А. Н.** Звукоподавляющий облепленный акустический экран // Охрана и экономика труда. 2015. № 2 (19). С. 56–61. URL: [http://www.vcot.info/upload/doc/%E2%84%96\(19\)-2015.pdf](http://www.vcot.info/upload/doc/%E2%84%96(19)-2015.pdf).

10. **Савельев А. П., Скворцов А. Н.** Расчет коэффициента звукопоглощения сложной конструкции звукоподавляющего акустического экрана // Охрана и экономика труда. 2015. № 3 (20). С. 27–31. URL: [http://www.vcot.info/upload/doc/Документы%20для%20мероприятий/№3\(20\)-2015.pdf](http://www.vcot.info/upload/doc/Документы%20для%20мероприятий/№3(20)-2015.pdf).

11. Анатомия, физиология и патология органов слуха : учебное пособие / Е. Д. Боярчук [и др.]. Луганск : Альма-матер, 2007. 89 с. URL: http://anatomy.luguniv.edu.ua/ukr_studies/hearing.pdf.

12. **Скворцов А. Н.** Анализ исследования источников шума объектов животноводства // Электронный периодический научный журнал «SCI-ARTICLE.RU». 2014. № 5. С. 159–164. URL: http://sci-article.ru/number/01_2014.pdf.

13. **Тэйлор Р.** Шум / под ред. М. А. Исаковича. М. : Мир, 1978. 308 с. URL: http://ikfia.ysn.ru/images/doc/elementarn_fizika/Tejlor1978ru.pdf.

14. **Тюрина Н. В.** Исследование акустических экранов // XXVII сессия Российского акустического общества, посвященная памяти ученых-акустиков ФГУП «Крыловский государственный научный центр» А. В. Смольякова и В. И. Попкова. СПб, 2014. URL: <http://rao.akin.ru/Rao/sess27/тюрина.pdf>.

15. **Девисиллов В. А.** Охрана труда. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Форум, 2009. 496 с. URL: <http://www.alleng.ru/d/saf/saf46.htm>.

16. **Azizi M. H.** Occupational Noise-induced Hearing Loss // International journal of Occupational and Environmental Medicine. 2010. № 3. P. 116–123. URL: <http://www.theijoem.com/ijoem/index.php/ijoem/article/download/36/98>.

17. **Boger M., Branco A., Ottoni A.** The noise spectrum influence on Noise-Induced Hearing Loss prevalencin workers // Brazilian Journal of Otorhinolaryngology. 2009. № 3. P. 328–362. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1808-86942009000300003>

18. **Chou Y. F., Lai J. S., Kuo H. W.** Effects of shift work on noise-induced hearing loss // Noise Health. 2009. № 11 (45). P. 185–188. doi: [10.4103/1463-1741.56210](https://doi.org/10.4103/1463-1741.56210)

19. **Cox T. J., Antonio P. D.** Acoustic absorbers and diffusers: theory, design and application. New York : Taylor and Francis, 2009. 477 p. URL: <http://bookre.org/reader?file=609093&pg=3>.

20. **Everest F. A.** The master handbook of acoustic. 4-th ed. New York : McGraw-Hill, 2007. 641 p. URL: http://iribsupport.ir/Books/Acoustic/master_handbook_of_acoustics.pdf.

21. **Gtinel B., Hacıhabiboglu H., Kondoz A. M.** Wavelet packet based analysis of sound fields in rooms using coincident microphone arrays // Applied Acoustics. 2007. Vol. 68, No. 7. P. 778–796. URL: <http://users.metu.edu.tr/hhuseyin/Journal/gunhhokon2006.pdf>.

22. Handbook of Noise and Vibration Control / ed. by M. J. Crocker. New York : John Wiley and Sons, 2007. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470209707.fmatter/pdf>.

23. **Hannink M.** Acoustic resonators for the reduction of sound radiation and transmission: PhD thesis. Enschede : University of Twente, 2007. 184 p. URL: http://doc.utwente.nl/58025/1/thesis_Hannink.pdf.

24. **Hopkins C.** Sound insulation. Oxford : Elsevier Ltd, 2007. 648 p. URL: <http://197.14.51.10:81/pmb/ARCHITECTURE/Sound%20Insulation.pdf>.

25. **Torabi Z.** Report of audiogram // The International Journal of Occupational and Environmental Medicine. 2010. № 1 (1). P. 45–48. URL: <http://www.theijoem.com/ijoem/index.php/ijoem/article/download/8/25>.

Поступила 17.09.2015 г.



Об авторах:

Скворцов Александр Николаевич, аспирант кафедры безопасности жизнедеятельности Института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2093-1094>**, squortsow.sasha@yandex.ru

Савельев Анатолий Петрович, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности Института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), доктор технических наук, профессор, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0361-0827>**, igaikinamgu@mail.ru

Глютов Сергей Викторович, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности Института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), доктор технических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6965-3953>**, squortsow.sasha@yandex.ru

REFERENCES

1. Shubin IL. Akusticheskiy raschet i proyektirovaniye konstruktsey shumozashchitnykh ekranov [Acoustic calculation and design of acoustic screens]: Abstract of Ph.D. thesis (Engineering). Moscow; 2011. Available from: <http://test.vak.ed.gov.ru/common/img/uploaded/files/SHubinIL.pdf>. (In Russ.)
2. Afanasyeva RF. Sochetannoye deystviye faktorov proizvodstvennoy i okruzhayushchey sred na organizm cheloveka (analiticheskiy obzor) [Combined effect of the factors of production and environment on the human body (analytical review)]. *Byulleten nauchnogo soveta "Mediko-ekologicheskiye problemy rabotayushchikh"* = Bulletin of the Scientific Council of "Medical and ecological problems of working people". 2005; 2:58-70. Available from: <http://sci-pub.info/ref/5489378>. (In Russ.)
3. Kolosov YuV, Baranovskiy VV. Zashchita ot vibratsiy i shuma na proizvodstve: uchebnoye posobiye [Protection against noise and vibration at the place of production]. St. Petersburg: SPbGU ITMO; 2011. Available from: <http://books.ifmo.ru/file/pdf/826.pdf>. (In Russ.)
4. Shishelova TI, Malygina YuS, Nguyen SD. Vliyaniye shuma na organizm cheloveka [Effects of noise on a human body]. *Uspekhi sovremennoy yestestvoznaniya* = Success of modern science. 2009; 8:14-15. Available from: <http://www.rae.ru/use/pdf/2009/8-S/9.pdf>. (In Russ.)
5. Ivanov NI. Inzhenernaya akustika: teoriya i praktika borby s shumom [Acoustics Engineering: Theory and Practice of noise control]. Moscow: Logos; 2008. Available from: http://fictionbook.ru/pages/download_prew/?file=408272. (In Russ.)
6. Mansurova AF. Posledstviya sanktsiy SShA i YeS dlya Rossiyskoy ekonomiki. [Consequences of the US and EU sanctions for Russian economy]. *Elektronnyy periodicheskiy nauchnyy zhurnal "SCI-ARTICLE.RU"* = Electronic periodical scholarly journal "SCI-ARTICLE.RU". 2014; 14:228-230. Available from: <http://sci-article.ru/stat.php?i=1414051758>. (In Russ.)
7. Murzinov PV. Razrabotka zvukopodavlyayushchikh oblegchennykh strukturirovannykh paneley s zadannymi akusticheskimi kharakteristikami [Development of lightweight sound-absorbing panels structured with desired acoustic characteristics]: Abstract of Ph.D. thesis (Engineering). St. Petersburg; 2011. Available from: <http://www.eltech.ru/assets/files/nauka/dissertacii/2011/MurzinovPV.pdf>. (In Russ.)
8. Gurbatov SN, et al. Povedeniye intensivnykh akusticheskikh shumov na bolshikh rasstoyaniyakh [Behavior intense acoustic noise over long distances]. *Akusticheskiy zhurnal* = Acoustic journal. 2007; 53:55-72. Available from: http://www.akzh.ru/pdf/2007_1_55-72.pdf. (In Russ.)
9. Savelyev AP, Skvortsov AN. Zvukopodavlyayushchiy oblegchennyy akusticheskiy ekran [Lightweight acoustic baffle]. *Okhrana i ekonomika truda* = Safety and Labour Economics. 2015; 2(19):56-61. Available from: [http://www.vcot.info/upload/doc/%E2%84%962\(19\)-2015.pdf](http://www.vcot.info/upload/doc/%E2%84%962(19)-2015.pdf). (In Russ.)
10. Savelyev AP, Skvortsov AN. Raschet koeffitsiyenta zvukopogloshcheniya slozhnoy konstruktsey zvukopodavlyayushchego akusticheskogo ekrana [Calculation of a sound absorption coefficient for a complex acoustic screen design]. *Okhrana i ekonomika truda* = Safety and Labour Economics. 2015; 3(20):27-31. Available from: [http://www.vcot.info/upload/doc/Dokumyenty%20dlya%20myeropriyatiy/%20№3\(20\)-2015.pdf](http://www.vcot.info/upload/doc/Dokumyenty%20dlya%20myeropriyatiy/%20№3(20)-2015.pdf). (In Russ.)



11. Boyarchuk YeD. Anatomiya, fiziologiya i patologiya organov slukha: uchyebnoye posobiye [Anatomy, physiology and pathology of hearing]. Lugansk: Alma-mater; 2007. Available from: http://anatomy.luguniv.edu.ua/ukr_studies/hearing.pdf. (In Russ.)

12. Skvortsov AN. Analiz isslyedovaniya istochnikov shuma obektov zhivotnovodstva [Analysis study of noise sources of livestock facilities]. *Elektronnyy periodicheskiy nauchnyy zhurnal "SCI-ARTICLE.RU"* = Electronic periodical scholarly journal "SCI-ARTICLE.RU". 2014; 5:159-164. Available from: http://sci-article.ru/number/01_2014.pdf. (In Russ.)

13. Teylor R. Shum [Noise]. Moscow: Mir; 1978. Available from: http://ikfia.ysn.ru/images/doc/elementarn_fizika/Tejlor1978ru.pdf. (In Russ.)

14. Tyurina NV. Issledovaniye akusticheskikh ekranov [Investigation of acoustic screens]. 27th session of Russian Acoustical Society dedicated to memory of A. Smolyanov and V. Popkov from Krylov State Research Center. St. Petersburg, 2014. Available from: <http://rao.akin.ru/Rao/sess27/tyurina.pdf>. (In Russ.)

15. Devisilov VA. Okhrana truda [Occupational Safety and Health]. 4th ed. Moscow: Forum, 2009. Available from: <http://www.alleng.ru/d/saf/saf46.htm>. (In Russ.)

16. Azizi MH. Occupational Noise-induced Hearing Loss. *International journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2010; 3:116-123. Available from: <http://www.theijoem.com/ijoem/index.php/ijoem/article/download/36/98>.

17. Boger M, Branco A, Ottoni A. The noise spectrum influence on Noise-Induced Hearing Loss prevalence workers. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*. 2009; 3:328-362. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1808-86942009000300003>

18. Chou YF, Lai JS, Kuo HW. Effects of shift work on noise-induced hearing loss. *Noise Health*. 2009; 11(45):185-188. doi: 10.4103/1463-1741.56210

19. Cox TJ, Antonio PD. Acoustic absorbers and diffusers: theory, design and application. New York: Taylor and Francis; 2009. Available from: <http://bookre.org/reader?file=609093&pg=3>.

20. Everest FA. The master handbook of acoustic. 4th ed. New York: McGraw-Hill; 2007. Available from: http://iribsupport.ir/Books/Acoustic/master_handbook_of_acoustics.pdf.

21. Gtinel B, Hacihabiboglu H, Kondo AM. Wavelet packet based analysis of sound fields in rooms using coincident microphone arrays. *Applied Acoustics*. 2007; 7(68):778-796. Available from: <http://users.metu.edu.tr/hhuseyin/Journal/gunhhokon2006.pdf>.

22. Crocker MJ, editor. Handbook of Noise and Vibration Control. New York: John Wiley and Sons; 2007. Available from: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470209707.fmatter/pdf>.

23. Hannink M. Acoustic resonators for the reduction of sound radiation and transmission: Ph.D. thesis. Enschede: University of Twente; 2007. Available from: http://doc.utwente.nl/58025/1/thesis_Hannink.pdf.

24. Hopkins C. Sound insulation. Oxford: Elsevier Ltd; 2007. Available from: <http://197.14.51.10:81/pmb/ARCHITECTURE/Sound%20Insulation.pdf>.

25. Torabi Z. Report of audiogram. *The International Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2010; 1(1):45-48. Available from: <http://www.theijoem.com/ijoem/index.php/ijoem/article/download/8/25>.

Submitted 17.09.2015

About the authors:

Aleksandr Skvortsov, postgraduate student of Life Safety chair, Institute of Mechanics and Energy, Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2093-1094>**, squortsow.sasha@yandex.ru

Anatoliy Savelyev, head of Life Safety chair, Institute of Mechanics and Energy, Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Dr.Sci. (Engineering), professor, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0361-0827>**, igaikinamgu@mail.ru

Sergey Glotov, professor of Life Safety chair, Institute of Mechanics and Energy, Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Dr.Sci. (Engineering), professor, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6965-3953>**, squortsow.sasha@yandex.ru