

УДК: 629.423.004.69+06

OECD: 1.03

Методика расчета ожидаемых уровней шума в помещениях вагона-электростанции восстановительного поезда

Крутова В.А.¹, Фролова Д.С.²

¹К.т.н., доцент, ²Ассистент

^{1,2} Кафедра «Основы проектирования машин» ФГБОУ ВО «Ростовского государственного университета путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, РФ

Аннотация

Объектом исследования являлись вагоны-электростанции восстановительного поезда железнодорожной отрасли народного хозяйства. Установлено, что в данном типе вагонов находятся дизель-генераторы, являющиеся интенсивным источником шума. При их эксплуатации возникает вредное виброакустическое воздействие на рабочий персонал, значительно превышающее санитарные нормы. В статье рассмотрены возможности теоретического расчета ожидаемых уровней звукового давления внутри помещений вагона-электростанции. Приведена расчетная схема помещения, учитывающая распространение звука в каждое помещение вагона от источников шума, которыми являются дизель-генераторные установки. В связи со спецификой данных источников шума, не представляется возможным исключить их воздействие путем конструктивного вмешательства в сами конструкции, поэтому обеспечение безопасных условий труда предлагается выполнить путем рационального применения различных материалов на внутренних перегородках.

Ключевые слова: расчетная точка, источник шума, дизель-генераторная установка, интенсивность звука, звуковая мощность, звукопоглощение, звукоизоляция.

Methodology for calculating expected noise levels in the premises of the power station car of a recovery train

Krutova V.A.¹, Frolova D.S.²

¹Ph.D., Associate Professor, ²Assistant

^{1,2} Department of 'Fundamentals of Machine Design' Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia

Abstract

The object of the study was the power station cars of the restoration train of the railway industry of the national economy. It has been established that this type of carriage contains diesel generators, which are sources of excessive noise. During their operation harmful vibroacoustic effects on operating personnel significantly exceeding sanitary norms occur. The article discusses the possibilities of theoretical calculation of the expected sound pressure levels inside a power station car. A calculation scheme of work places is given that takes into account the propagation of sound into each room of the car from the noise source, which is diesel generator set. Due to the specific nature of these noise sources, it is not possible to eliminate their impact through constructive intervention of the structures themselves, therefore, it is proposed to provide safe working conditions through improvement of sound isolation of internal partitions.

Keywords: *design point, noise source, diesel generator set, sound intensity, sound power, sound absorption, sound insulation.*

Введение

Железнодорожная отрасль занимает лидирующее место в обеспечении перевозки большого количества различных грузов и пассажиров на различные расстояния. Это объяснимо с точки зрения ее эффективности, безопасности и экономичности по сравнению с другими видами транспорта. Один из главных критериев, которому должен соответствовать железнодорожный транспорт, – это его бесперебойность в работе. Достижению этой задачи способствует в том числе оперативное устранение различных аварий, которые возникают в процессе работы железной дороги. При необходимости быстрой ликвидации последствий схода с рельс подвижного состава применяется специально сформированный вид железнодорожной техники – восстановительный поезд, в составе которого находится различное вспомогательное оборудование, в том числе вагоны-электростанции. В функции данных вагонов входят освещение и электрообогрев восстановительного поезда, а также освещение места схода и электроснабжение вспомогательного оборудования.

1. Постановка задачи исследования

В зависимости от типа восстановительного поезда вагоны-электростанции могут иметь различную компоновку, например, могут иметь три или четыре внутренних перегородки, создавая таким образом несколько помещений различного назначения: дизельное отделение, служебное помещение, кухня-салон, купе для отдыха, бытовое помещение. Дизель-генераторные установки (ДГУ) имеют совокупную мощность в диапазоне 200...600 кВт и располагаются таким образом, что звуковое излучение во время их работы создает неблагоприятные условия труда и отдыха персонала, обслуживающего вагон-электростанцию восстановительного поезда. Воздействие повышенных уровней шума на организм человека широко известно [1-4] и помимо создания угроз возникновения различных болезней, снижает производительность труда. Вопросом исследований влияния шума на эффективность трудового процесса операторов дорожно-строительной техники занимался М. Ренч (ГДР). На основании его трудов доказано, что снижение шума на 10 дБА увеличивает производительность труда более чем на 10%. Учитывая, что при ликвидации последствий аварий машинист вагона-электростанции должен находиться в максимально сосредоточенном состоянии, воздействие повышенных уровней шума приводит к снижению концентрации внимания, что недопустимо. А также шум, проникающий в бытовые помещения, снижает качество отдыха персонала.

Снижение неблагоприятного воздействия повышенных уровней шума на персонал возможно путем расчета и проектирования системы звукоизоляции внутри вагона-электростанции [5, 6]. Основным источником шума (ИШ) на рабочем месте и месте отдыха персонала, обслуживающего вагон-электростанцию, является дизель-генератор. Однако, учитывая, что звуковое поле формируется во внутреннем замкнутом объеме помещения, в котором происходит отражение звука от поверхностей вагона-электростанции (стены, потолок, пол, перегородки и т.д.), интенсивность звука необходимо рассчитывать по формуле (1), исходя из схемы, представленной на рисунке 1 [7, 8].

2. Вывод зависимостей для расчета воздушной составляющей шума

Расчет выполнен с применением метода последовательного преобразования звуковых полей [9].

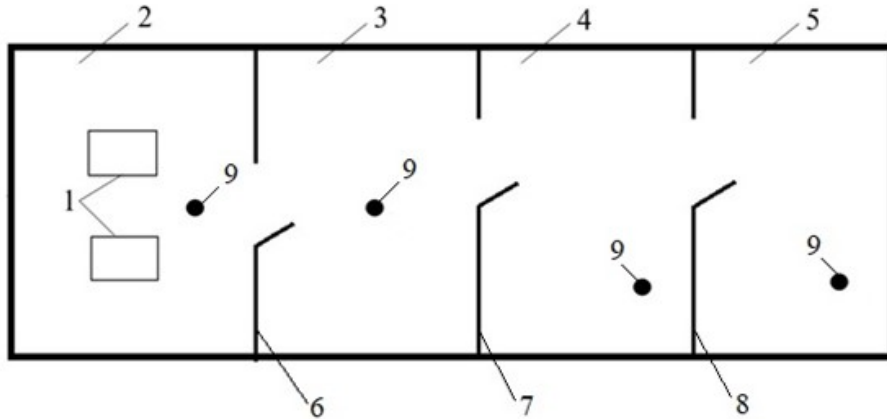


Рис. 1. Расчетная схема для определения шума на рабочем месте и месте отдыха персонала, обслуживающего вагон-электростанцию:

1 – источник шума (дизель-генераторные установки); 2 – дизельное отделение (помещение 1); 3 – служебное помещение (помещение 2); 4 – кухня-салон (помещение 3); 5 – купе для отдыха (помещение 4); 6 – перегородка 1; 7 – перегородка 2; 8 – перегородка 3; 9 – расчетные точки

Принятые допущения при расчете:

- во всех помещениях звуковое поле рассматривается диффузным с поправкой;
- $\Psi_{\text{диф}}$ – коэффициент, показывающий степень приближения звукового поля к диффузному;
- в первом помещении рассматривается как прямой, так и отраженный звук, в остальных помещениях рассматривается отраженный звук.

Интенсивность шума в первом помещении (шум, падающий на перегородку 1):

$$I_{\text{пом1}} = 2W_{\text{ист}} \left[\frac{\chi_{\text{ист}}}{2\pi r^2} + \frac{4(1 - \bar{\alpha}_{\text{пом1}})}{\Psi_{\text{пом1}} A_{\text{пом1}}} \right], \text{Вт/м}^2 \quad (1)$$

где $W_{\text{ист}}$ – акустическая мощность дизель-генераторной установки, Вт;

$\chi_{\text{ист}}$ – коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля в тех случаях, когда расстояние меньше удвоенного максимального габарита источника (R/l_{max}) принимают по таблице 1;

r – расстояние от ИШ до перегородки между помещениями 1 и 2, м;

$\bar{\alpha}_{\text{пом1}}$ – средний коэффициент звукопоглощения в первом помещении;

$\Psi_{\text{пом1}}$ – коэффициент, показывающий степень приближения звукового поля в помещении 1 к диффузному (Табл. 2);

$A_{\text{пом1}}$ – эквивалентная площадь звукопоглощения, м²;

$$A_{\text{пом}} = \sum_i^n \alpha_i^f S_i, \quad (2)$$

где α_i^f – частотно зависимый коэффициент звукопоглощения i поверхности ограждения в помещении 1 площадью S_i (включая поверхности ДГУ);

n – число площадей.

Таблица 1

Значение коэффициента $\chi_{\text{ист}}$

R/l_{max}	$\chi_{\text{ист}}$	$10\lg\chi_{\text{ист}}$, дБ
0,6	3	5
0,8	2,5	4
1,0	2	3
1,5	1,25	1
2	1	0

где R – расстояние от ИШ до перегородки, м;
 l_{max} – максимальный размер ИШ, м.

Таблица 2

Значение коэффициента $\Psi_{\text{пом}}$

$\alpha_{\text{пом}}$	$\Psi_{\text{пом}}$	$10\lg\Psi_{\text{пом}}$, дБ
0,2	1,25	1
0,4	1,5	2
0,5	2,0	3
0,6	2,5	4

Звуковая мощность, излучаемая перегородкой 1 в помещение 2 представлена следующей формулой:

$$W_{\text{изл}} = I_{\text{пом1}} S_{\text{пер1}} \bar{\tau}_{\text{пер1}}, \text{ Вт}, \quad (3)$$

где $S_{\text{пер1}}$ – площадь перегородки 1, м²;

$\bar{\tau}_{\text{пер1}}$ – приведенная (средняя) звукопроводность перегородки 1 (на практике используется приведенная звукоизоляция связанная с звукопроводностью):

$$\bar{\tau} = 10\lg \frac{1}{\bar{\tau}}, \text{ дБ}. \quad (4)$$

Значение приведенной звукоизоляции для перегородки:

$$\bar{\tau}_{\text{пер}} = 10\lg \frac{S_{\text{пер}}}{\sum_i^m S_{\text{пер}i} 10^{0,13\text{ZI}_{\text{пер}i}}}, \quad (5)$$

где $S_{\text{пер}}$ – площадь перегородки, м²;

$S_{\text{пер}i}$ – площадь i -го элемента перегородки (дверь, сплошная стена прочее), м², звукоизоляция которой составляет $\text{ZI}_{\text{пер}i}$, дБ;

m – число элементов перегородки с разной звукоизоляцией.

Интенсивность звука в помещении 2 (принимается допущение о том, что звуковое поле создается отражением):

$$I_{\text{пом2}} = \frac{4W_{\text{изл1}} (1 - \bar{\alpha}_{\text{пом2}})}{\Psi_{\text{пом2}} A_{\text{пом2}}}, \text{ Вт/м}^2, \quad (6)$$

где $\bar{\alpha}_{\text{пом2}}$ – средний коэффициент звукопоглощения во втором помещении;

$\Psi_{\text{пом}2}$ – коэффициент, показывающий степень приближения звукового поля к диффузному во втором помещении;

$A_{\text{пом}2}$ – эквивалентная площадь звукопоглощения во втором помещении, м².

Звуковая мощность, излучаемая перегородкой 2 в третье помещение:

$$W_{\text{изл}2} = I_{\text{пом}2} S_{\text{пер}2} \bar{\tau}_{\text{пер}2}, \text{Вт}, \quad (7)$$

где $S_{\text{пер}2}$ – площадь перегородки 2, м²;

$\bar{\tau}_{\text{пер}2}$ – приведенная звукопроводимость перегородки 2.

Интенсивность звука в помещении 3:

$$I_{\text{пом}3} = \frac{4W_{\text{изл}2} (1 - \bar{\alpha}_{\text{пом}3})}{\Psi_{\text{пом}3} A_{\text{пом}3}}, \text{Вт/м}^2, \quad (8)$$

где $\bar{\alpha}_{\text{пом}3}$ – средний коэффициент звукопоглощения в помещении 3;

$\Psi_{\text{пом}3}$ – коэффициент, показывающий степень приближения звукового поля к диффузному в третьем помещении;

$A_{\text{пом}3}$ – эквивалентная площадь звукопоглощения в третьем помещении, м².

Звуковая мощность, излучаемая перегородкой 3 в четвертое помещение:

$$W_{\text{изл}3} = I_{\text{пом}3} S_{\text{пер}3} \bar{\tau}_{\text{пер}3}, \text{Вт}, \quad (9)$$

где $S_{\text{пер}3}$ – площадь перегородки 3, м²;

$\bar{\tau}_{\text{пер}3}$ – приведенная звукопроводимость перегородки 3.

Интенсивность звука в расчетной точке помещения 4:

$$I_{\text{РТ}} = \frac{4W_{\text{изл}3} (1 - \bar{\alpha}_{\text{пом}4})}{\Psi_{\text{пом}4} A_{\text{пом}4}}, \text{Вт/м}^2, \quad (10)$$

где $\bar{\alpha}_{\text{пом}4}$ – средний коэффициент звукопоглощения в помещении 4;

$\Psi_{\text{пом}4}$ – коэффициент, показывающий степень приближения звукового поля к диффузному в четвертом помещении;

$A_{\text{пом}4}$ – эквивалентная площадь звукопоглощения в четвертом помещении, м².

Подставляя выражения (1), (3), (6)-(9) в (10), получим:

$$I_{\text{РТ}} = 2W_{\text{ист}} \left[\frac{\chi_{\text{ист}}}{2\pi r^2} + \frac{4(1 - \bar{\alpha}_{\text{пом}1})}{\Psi_{\text{пом}1} A_{\text{пом}1}} \right] \times \frac{S_{\text{пер}1} \bar{\tau}_{\text{пер}1} 4(1 - \bar{\alpha}_{\text{пом}2}) S_{\text{пер}2} \bar{\tau}_{\text{пер}2} 4(1 - \bar{\alpha}_{\text{пом}3}) S_{\text{пер}3} \bar{\tau}_{\text{пер}3} 4(1 - \bar{\alpha}_{\text{пом}4})}{\Psi_{\text{пом}2} A_{\text{пом}2} \Psi_{\text{пом}3} A_{\text{пом}3} \Psi_{\text{пом}4} A_{\text{пом}4}} \quad (11)$$

Разделим обе части уравнения (11) на стандартный шумовой порог интенсивности звука $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² и прологарифмируем обе части, сделав преобразование с учетом (4), получим уровни звукового давления в расчетной точке:

$$\begin{aligned} L_{\text{РТ}} = & L_{W_{\text{ист}}} + 10 \lg \left[\frac{\chi_{\text{ист}}}{2\pi r^2} + \frac{4(1 - \bar{\alpha}_{\text{пом}1})}{\Psi_{\text{пом}1} A_{\text{пом}1}} \right] + 10 \lg \frac{S_{\text{пер}1}}{A_{\text{пом}2}} - \overline{3\bar{\Gamma}}_{\text{пер}1} - 10 \lg \Psi_{\text{пом}2} + \\ & + 10 \lg (1 - \bar{\alpha}_{\text{пом}2}) + 10 \lg \frac{S_{\text{пер}2}}{A_{\text{пом}3}} - \overline{3\bar{\Gamma}}_{\text{пер}2} - 10 \lg \Psi_{\text{пом}3} + 10 \lg (1 - \bar{\alpha}_{\text{пом}3}) + \\ & + 10 \lg \frac{S_{\text{пер}3}}{A_{\text{пом}4}} - \overline{3\bar{\Gamma}}_{\text{пер}3} - 10 \lg \Psi_{\text{пом}4} + 10 \lg (1 - \bar{\alpha}_{\text{пом}4}) + 10 \lg 2 \cdot 4^3, \text{дБ}, \end{aligned} \quad (12)$$

где $L_{W_{\text{ист}}}$ – уровни акустической мощности источника, дБ.

На основании полученных формул произведем пошаговый расчет ожидаемых уровней звукового давления на рабочих местах обслуживающего персонала вагона-электростанции восстановительного поезда (Табл. 3).

Таблица 3

Расчет ожидаемых УЗД на рабочих местах

Наименование, параметр	Рассчитанные УЗД, дБ, значения параметров в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{\text{ист}}$ (эксперимент)	102	104	101	101	98	93	85	82
$\bar{\alpha}_{\text{пом1}}$	0,1	0,15	0,18	0,2	0,25	0,27	0,25	0,25
$\Psi_{\text{пом1}}$	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
$A_{\text{пом1}}$	16,4	24,6	29,5	32,8	41	44	41	41
$10lg \left[\frac{\chi_{\text{ист}}}{2\pi T^2} + \frac{4(1-\bar{\alpha}_{\text{пом1}})}{\Psi_{\text{пом1}} A_{\text{пом1}}} \right]$, дБ	-5	-7	-7,5	-8	-8,5	-9	-8,5	-8,5
$-\bar{3}\bar{I}_{\text{пер1}}$ (эксперимент)	-5	-6	-5	-7	-7	-8	-8	-9
$\bar{\alpha}_{\text{пом2}}$	0,08	0,12	0,15	0,22	0,24	0,25	0,3	0,21
$\Psi_{\text{пом2}}$	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
$A_{\text{пом2}}$	4,5	6,7	8,4	12,3	13,4	14	16,8	15
$10lg \frac{S_{\text{пер1}}}{A_{\text{пом2}}}$, дБ	3,6	3,4	1	-0,7	-1	-1	-2	-1,5
$-10lg \Psi_{\text{пом2}}$, дБ	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
$10lg (1 - \bar{\alpha}_{\text{пом2}})$	-0,5	-0,5	-0,7	-0,8	-1,2	-1,2	-1,5	-0,8
$-\bar{3}\bar{I}_{\text{пер2}}$ (эксперимент)	-7	-6	-8	-11	-12	-9	-10	-10
$\bar{\alpha}_{\text{пом3}}$	0,09	0,11	0,16	0,2	0,25	0,25	0,29	0,25
$\Psi_{\text{пом3}}$	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
$A_{\text{пом3}}$	3,7	4,5	5,5	8,2	10,2	10,2	11,9	10,8
$10lg \frac{S_{\text{пер2}}}{A_{\text{пом3}}}$, дБ	4,5	3,6	2,8	1	0	0	-0,5	0
$-10lg \Psi_{\text{пом3}}$, дБ	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
$10lg (1 - \bar{\alpha}_{\text{пом3}})$	-0,5	-0,5	-0,7	-0,8	-1,2	-1,2	-1,5	-1,2
$\bar{\alpha}_{\text{пом4}}$	0,12	0,15	0,2	0,25	0,29	0,33	0,3	0,25
$\Psi_{\text{пом4}}$	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
$A_{\text{пом4}}$	5,4	6,7	9	11,2	13,5	14	13,5	11,2
$10lg \frac{S_{\text{пер3}}}{A_{\text{пом4}}}$, дБ	2,8	2	0,6	-0,3	-1,1	-1,2	-1,1	-0,4
$-\bar{3}\bar{I}_{\text{пер3}}$	-5	-6	-6	-6	-7	-7	-7	-5
$-10lg \Psi_{\text{пом4}}$, дБ	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
$10lg (1 - \bar{\alpha}_{\text{пом4}})$	-0,5	-0,7	-1	-1,2	-1,5	-1,7	-1,5	-1,2
$10lg 2 \cdot 4^3$, дБ	18	18	18	18	18	18	18	18
$L_{\text{РТ1}}$ (расчет)	95	86	82	71	64	61	52	47
$L_{\text{РТ2}}$ (норма)	83	74	68	63	60	57	55	54
$L_{\text{РТ1}} - L_{\text{РТ2}}$ (прогноз превышения УЗД)	12	12	14	8	4	4	-3	-7

ЗИ перегородки, дБ	15	18	20	20	22	22	24	27
$L_{РТЗ}$ (после применения материалов)	83	73	67	68	59	47	46	24
$L_{РТЗ} - L_{РТ2}$ (прогноз снижения УЗД)	0	-1	-1	-5	-1	-10	-9	-30

По результатам расчета, приведенным в таблице 3 ($L_{РТ2}$), произведен сравнительный анализ предельно допустимых уровней звукового давления (УЗД) в октавных полосах частот на рабочих местах и местах размещения обслуживающего персонала специального подвижного состава с расчетными значениями УЗД на рабочих местах. Как показали данные в диапазоне 63...250 Гц превышения достигают 14 дБ. В диапазоне 500...2000 Гц происходит спад уровней звукового давления с 8 дБ до 4 дБ. И только в области высоких частот (4000 – 8000 Гц) превышения над санитарной нормой отсутствуют. Таким образом, требуемое снижение УЗД в диапазоне частот 63 – 2000 Гц составляет 4 – 14 дБ. Для обеспечения санитарных норм рекомендуется увеличить звукоизоляцию внутренних перегородок с помощью эффективных звукоизоляционных материалов.

Устройство перегородки (Рис. 2) внутри вагона-электростанции предлагается выполнять в следующем виде: на стальную основу крепится минераловатная плита «Вибростек – V300», а на нее перфорированная дублированная винилискожа (серая).



Рис. 2. Устройство перегородки вагона-электростанции:

- 1 – стальной лист; 2 – «Вибростек – V300»;
3 – минераловатная плита; 4 – перфорированная дублированная винилискожа (серая)

По результатам применения более эффективных звукоизоляционных материалов для перегородки внутри вагона-электростанции, получены усредненные значения звукоизоляции перегородки и УЗД на рабочих местах. Расчет показал, что уровни звукового давления после применения звукоизоляционных материалов (L_{PT3}) ниже допустимых во всем нормируемом диапазоне частот (Табл. 3).

Заключение

Получены теоретические зависимости, которые позволяют произвести расчет ожидаемых уровней шума в различных помещениях вагона-электростанции восстановительного поезда, учитывая особенности компоновки вагона-электростанции, расположения источника шума относительно рабочих мест и мест отдыха персонала, параметров дизель-генераторной установки. Приведенные выражения позволяют оценить необходимую звукоизоляцию и привести фактические значения уровней звука в соответствие предельно допустимым нормам как на этапе проектирования новых вагонов-электростанций, так и на этапе модернизации существующих.

Список литературы

1. Способы снижения шума и вибрации на этапах проектирования, производства и эксплуатации железнодорожного транспорта : монография / И. В. Колесников, С. Ф. Подуст, С. С. Подуст, А. Н. Чукарин ; под общей редакцией академика РАН В. И. Колесникова. – Москва : ВНИТИ РАН, 2015. – 216 с. – ISBN 978-5-902928-53-9.
2. Снижение шума железнодорожного транспорта / Н. И. Иванов, Д. А. Куклин, П. В. Матвеев, М. В. Буторина // Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности». – Москва : Новые технологии, 2012. – № 12. – С. 1–23.
3. Баланова М.В. Анализ акустических факторов в восстановительных поездах и мероприятия по снижению негативного воздействия / Баланова М.В., Финоченко Т.А., Юдаков П.Ю., Яицков И.А. // Сборник научных трудов «Современное развитие науки и техники», Наука-2017 Т.1 Технические и естественные науки, РГУПС. Ростов-на-Дону, 2017 - с. 278 -283
4. Финоченко Т.А., Яицков И.А. Достойный труд - безопасный труд / Всеросс. национ. науч.-практич. конф. «Теория и практика безопасности жизнедеятельности», научно-технич. журнал: Труды РГУПС. 2018. № 2. с. 5-6
5. Шашурин А.Е. Звукопоглощающая панель для шумозащитной конструкции / Шашурин А.Е., Заплетников И.Н., Кириченко В.А., Иванов Н.И., Бужинский К.В., Светлов В.В., Бойко Ю.С. / Патент на полезную модель RU 171794 U1, 16.06.2017. Заявка № 2016141361 от 20.10.2016.
6. Шашурин А.Е. Определение эффективной высоты и акустических характеристик шумозащитного экрана /Noise Theory and Practice. 2018. Т. 4. № 2 (12). С. 5-10.
7. Фролова, Д.С. Теоретические зависимости воздушной составляющей шума вагонов-электростанций / Д. С. Фролова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 4 (88). – С. 227–232. – DOI 10.46973/0201-727X_2022_4_227.
8. Фролова, Д. С. Теоретическая оценка акустических характеристик в вагоне-электростанции восстановительного поезда / Д. С. Фролова, В. А. Крутова // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 4. – С. 111–115. – ISSN 1818-5509.

9. Иванов, Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом : учебник / Н. И. Иванов. – 5-е изд. – Москва : Логос, 2017. – 432 с. – ISBN 978-5-98704-659-3.

References

1. Methods for reducing noise and vibration in railway transport at design, production and operation stages: monograph / I. V. Kolesnikov, S. F. Podust, S. S. Podust, A. N. Chukarin; under the general editorship of Academician of the Russian Academy of Sciences V.I. Kolesnikov. – Moscow: VNITI RAS, 2015. – 216 p. – ISBN 978-5-902928-53-9.

2. Railway transport noise reduction / N. I. Ivanov, D. A. Kuklin, P. V. Matveev, M. V. Butorina // Supplement to the journal “Life Safety”. – Moscow: New technologies, 2012. – No. 12. – P. 1–23.

3. Balanova M.V. Analysis of acoustic factors in recovery trains and measures to reduce negative impacts / Balanova M.V., Finochenko T.A., Yudakov P.Yu., Yaitskov I.A. // Collection of scientific works “Modern development of science and technology”, Science-2017 Vol.1 Technical and natural sciences, RGUPS. Rostov-on-Don, 2017 - p. 278 -283

4. Finochenko T.A., Yaitskov I.A. Decent work - safe work / All-Russian National Scientific-practical Conf. “Theory and practice of life safety”, scientific and technical. journal: Proceedings of RGUPS. 2018.№ 2. p. 5-6

5. Shashurin A.E. Sound absorbing panel for noise reduction construction/ Shashurin A.E., Zapletnikov I.N., Kirichenko V.A., Ivanov N.I., Buzhinsky K.V., Svetlov V.V., Boyko Yu.S. Patent for utility model RU 171794 U1, 06/16/2017. Application No. 2016141361 dated 10/20/2016.

6. Shashurin A.E. Determination of the effective height and acoustic characteristics of the noise barriers. Noise Theory and Practice. 2018. Vol. 4. No. 2 (12). pp. 5-10.

7. Frolova, D.S. Theoretical dependences of the air component of the noise of power train cars / D. S. Frolova // Bulletin of the Rostov State Transport University. – 2022. – No. 4 (88). – pp. 227–232. – DOI 10.46973/0201-727X_2022_4_227.

8. Frolova, D. S. Theoretical assessment of acoustic characteristics in the power station car of a recovery train / D. S. Frolova, V. A. Krutova // Proceedings of the Rostov State Transport University. – 2022. – No. 4. – P. 111–115. – ISSN 1818-5509.

9. Ivanov, N. I. Engineering acoustics. Theory and practice of noise control: textbook / N. I. Ivanov. – 5th ed. – Moscow: Logos, 2017. – 432 p. – ISBN 978-5-98704-659-3.