

УДК: 621.01+06
OECD: 01.03. AA

Теоретическая оценка спектров воздушной составляющей шума на примере дрезины АС-1А и автомотрисы АСГ-30П

Васильева В.К.

Аспирант

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

Особенности конструкционного исполнения обслуживающего железнодорожного транспорта предполагают наличие источников шума внутри кабины оператора и пассажирского салона, в связи с чем увеличивается негативное действие этого физического фактора на работников. Помимо акустического воздействия, силовые установки повышенной мощности способны влиять на внутренние конструкции транспорта, что негативно сказывается на виброакустических параметрах рабочих мест. В данной статье приведен расчет ожидаемых уровней шума в машинных отделениях и пассажирских салонах дрезин (автомотрис). Также предложен расчет конструкций и выбор материалов для снижения шума на рабочих местах машинистов и внутри рассматриваемого железнодорожного транспорта. Описаны методы снижения шума, исходя из конструкционных особенностей средств рельсового транспорта, таких как дрезина АС-1А и автомотриса АСГ-30П.

Ключевые слова: автомотриса, дрезина, железнодорожный транспорт, рабочее место, расчет снижения шума, уровни звукового давления.

Theoretical evaluation of the spectra of the airborne noise component on the example of AS-1A railcar and ASG-30P handcar

Vasilyeva V.K.

Graduate student, Baltic State Technical University 'VOENMEH' named after D.F. Ustinov
St.Petersburg, Russia

Abstract

Sources of noise are located inside an operator's cabin and a passenger compartment because of the design features of the service railway transport; the negative effect of this physical factor on worker's increases. In addition to acoustic impact, high-power propulsion can affect the internal structures of vehicles, which negatively affects the vibroacoustic parameters of workplaces. This article provides a calculation of the expected noise levels in the engine rooms and passenger compartments of railcars (handcar). Also proposed is the calculation of structures and the choice of materials to reduce noise at the workplaces of machinists and inside the considered railway transport. Methods for reducing noise are described based on the design features of rail vehicles, such as the AS-1A railcar and the ASG-30P handcar.

Keywords: railcar, handcar, railway transport, workplace, noise reduction calculation, sound pressure levels.

Введение

Существует целый ряд профессий, в которых шум является неустранимым вредным фактором, и заболеваемость органа слуха у лиц, работающих в условиях повышенных уровней шума, достаточно велика. Судя по Отчету главного внештатного специалиста профпатолога Минздрава России за 2019 год [1], в зависимости от вредных факторов производственной среды, профессиональные заболевания распределяются следующим образом: на первом месте профессиональная патология вследствие чрезмерного воздействия на организм работников физических факторов производственных процессов, и составляет 53,15 %. Второе место за профессиональной патологией вследствие воздействия физических перегрузок и перенапряжения отдельных органов и систем - 23,71%. Третье и четвертое места соответственно - воздействие промышленных аэрозолей - 17,11 % и заболевания, вызванные химическими веществами - 6 %.

Современные транспортные машины, и в особенности путевые, оснащены виброактивными органами и силовыми установками повышенной мощности. Это способствует повышению производительности, но негативно сказывается на виброакустических параметрах рабочих мест, в первую очередь машинистов, а также локомотивных бригад. В настоящее время выполнен большой комплекс исследований виброакустических характеристик путевых, дорожно-строительных машин и локомотивов [2-9]. В полной мере это относится и к автомотрисам, и к дрезинам. Однако, в данных машинах используются внутренние источники шума такие как двигатель и компрессор, характеризующиеся повышенными уровнями излучаемого шума. Поэтому цель исследований, результаты которых представлены в данной статье, заключается в анализе процесса формирования звукового поля внутри кузовных конструкций, создаваемого звуковым излучением вышеуказанных внутренних источников.

В качестве объектов исследования выбраны автомотриса АСГ-30П и дрезина АС-1А (рис. 1 и 2). АСГ-30П - дизельная автомотриса, представляет собой две двухвостные тележки. Самоходный экипаж на рельсовом ходу, на котором установлены кабина машиниста и помощника, а также модуль для служебного персонала и дополнительного технологического оборудования. Технические характеристики: рабочая масса 56 т., конструкционная 45 т. Конструкционная скорость 90 км/ч. Длина автомотрисы 18 м. Тип двигателя - дизельный V8 ЯМЗ-238Д. Мощность двигателя 243 кВт. Диаметр колес 710 +15 мм. Оборудована служебным пассажирским салоном на 20 сидячих мест. Технические характеристики дрезины АС-1А: вес 10 т., рабочая скорость 40 км/ч, мощность бензинового двигателя 50 кВт. Предназначена для служебных поездок и доставки ремонтных бригад к месту работы.



Рис. 1. Автомотриса АСТ-30П



Рис. 2. Дрезина АС-1А

Компоновки кузовных конструкций автомотрис и дрезин позволяют подойти к расчету уровней воздушной составляющей шума и выбора инженерных решений для достижения предельных спектров, фактически с единых позиций. Различия компоновок заключаются только в количестве секций у автомотрис и дрезин. Кузов автомотрисы разделен на 5 секций, а дрезины на 2 секции. Основными источниками внутреннего воздушного шума являются - двигатель у дрезины, а у автомотрисы - двигатель и компрессор (рис. 3).

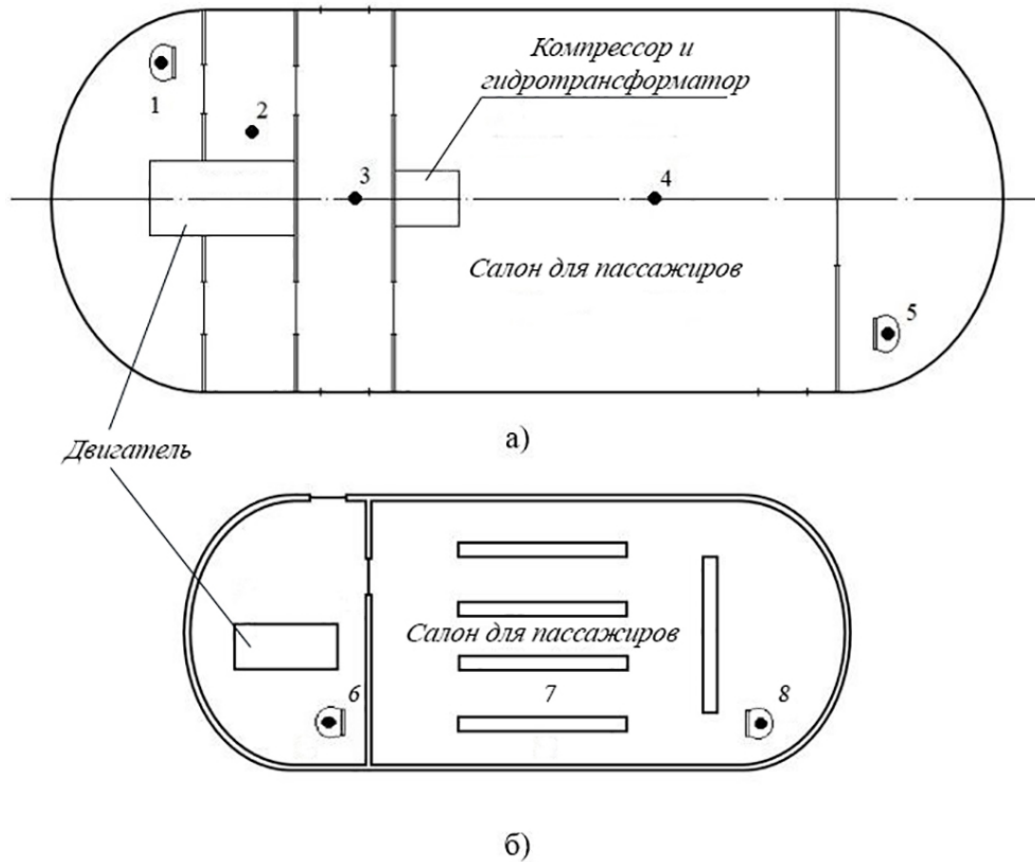


Рис. 3. Компонка кузовов объектов исследования:
а) автомотриса АСГ-30П; б) дрезина АС-1А

Внутреннее расположение элементов железнодорожного вагона (рис.3): 1,5,6,8 - рабочее место в кабине машиниста, 2 - тамбур машиниста, 3 - могут быть расположены: шкаф аппаратов контроля, бытовой холодильник, инструментальный шкаф, шкаф для одежды, установка пожаротушения и шкаф автоматической локомотивной сигнализации, 4,7 - салон пассажирский.

1. Методика расчета ожидаемых уровней шума в машинных отделениях и пассажирских салонах дрезин

Выражение уровней шума для машинных отделений и салона пассажиров дрезины получено с учетом особенностей компоновки источников шума на основе данных работ [10,11]:

$$L_1 = L_p + 20 \lg S_i + 10 \lg \left(\frac{0,04}{r^2} + \frac{1 - \bar{\alpha}_1}{\sum \alpha_{1i} S_{1i}} \right) \quad (1)$$

где S_i - площадь источника шума, m^2 ; L_p - уровни звукового давления, создаваемые силовой установкой в секции, дБ; индекс 1 относится соответственно к отсеку силовой установки; r - расстояние от источника шума до расчетной точки, м; α_i и $\bar{\alpha}$ - коэффициенты звукопоглощения и средний коэффициент, соответственно.

Для рабочих мест машинистов получена следующая зависимость, позволяющая

определить уровни создаваемого шума:

$$L_2 = L_p + 20lgS_i + 10lg \left(\frac{0,04}{r^2} + \frac{1 - \bar{\alpha}_1}{\sum \alpha_{1i} S_{1i}} \right) - 3И + 10lg \frac{4\Psi_2 S}{B} \quad (2)$$

где S - площадь внутренней поверхности салона, м²; 3И - звукоизоляция соответствующей конструкции, дБ; Ψ_2 - коэффициент диффузности салона дрезины (автомотрисы); B - постоянная салона автомотрисы (дрезины).

Коэффициент диффузности определяется следующим образом:

$$\Psi = 1 - 0,3 \frac{B}{S} \quad \text{при} \quad \frac{B}{S} \leq 1,5;$$

$$\Psi = 0,55 \quad \text{при} \quad \frac{B}{S} > 1,5.$$

Для кузовов характерно следующее соотношение $\frac{r}{l_{max}} \geq 3$ (l_{max} - максимальный размер источника шума, м):

$$\Psi = \frac{S_{\Sigma} - 1,3 \sum_{i=1}^6 \alpha_i^f S_i}{S_{\Sigma} - \sum_{i=1}^6 \alpha_i^f S_i}. \quad (3)$$

Постоянная салона определяется зависимостями [10]:

$$B = \frac{\sum \alpha_i^f S}{1 - \bar{\alpha}^f}; \quad \bar{\alpha}^f = \frac{\sum \alpha_i^f S_i}{S}; \quad (4)$$

где α_i^f и $\bar{\alpha}^f$ - частотно-зависимые и средние коэффициенты звукопоглощения, соответственно.

2. Методика расчета конструкций для снижения шума в машинных отделениях и пассажирских салонах дрезин

Рациональный выбор конструкции снижения шума от воздействия внутренних источников основан на разбиении кузовной конструкции на отдельные элементы [12], что может допустить использование однотипных звукопоглощающих материалов для соответствующих позиций кузова:

1. Основание кузова (S_1, α_1^f).
2. Верхняя пластина (S_2, α_2^f).
2. Лобовая панель кузова (S_3, α_3^f).
2. Фронтальная, противоположная и левая панели кузова (соответственно S_4, α_4^f ; S_5, α_5^f ; S_6, α_6^f).

Элементы остекления не допускают применения звукопоглощающих материалов на их поверхности, с целью сохранения полной обзорности. В связи с этим, в расчетах следует задавать звукопоглощение непосредственно стекол. В этом случае выражение $\sum_{i=1}^6 \alpha_i^f S_i$ примет вид:

$$\sum_{i=1}^6 \alpha_i^f S_i = \alpha_1^f S_1 + \alpha_2^f (S_2 + \sum_{i=1}^4 S_{3i}) + \sum_{i=1}^4 \alpha_4^f S_{4i} = 0,44 S_{\Sigma 2} \quad (5)$$

где α_2^f - частотно зависимые коэффициенты звукопоглощения материала для потолка и стен; α_4^f - коэффициенты звукопоглощения стекол; S_{4i} - площади стекол, м².

Тогда выбор типа звукопоглощающего материала по коэффициенту звукопоглощения основан на следующей зависимости:

$$\alpha_2^f = \frac{0,44S_{\Sigma 2} - \alpha_1^f S_1 - \sum_{i=1}^4 \alpha_4^f S_{4i}}{S_2 + \sum_{i=1}^4 S_{3i}} \quad (6)$$

Для машинного отделения и пассажирского салона может быть использован однотипный звукопоглощающий материал [13].

То же самое следует рекомендовать для таких элементов кузова, как его основание, так и верхняя панель. Выбор соответствующих материалов основан на следующих зависимостях:

$$\alpha_{1п} S_{11} + \alpha_{2п} \sum_{i=1}^5 S_{1i} \geq 0,44S_{\Sigma 1} \quad \alpha_{2п} = \frac{0,44S_{\Sigma 1} - \alpha_{1п} S_{11}}{\sum_{i=1}^5 S_{1i}} \quad (7)$$

3. Методика расчета снижения шума на рабочем месте машиниста дрезины АС-1А

У дрезины АС - 1А рабочее место машиниста отделено не сплошной перегородкой, а фактически плоским экраном. Для расчета акустической эффективности экрана использованы зависимости, приведенные в работе [14]:

$$\Delta L_3 = 10 \lg \left(8\pi^2 \frac{h}{\lambda} \tan \frac{\varphi}{2} \right) - 10 \lg n, \quad (8)$$

где λ - длина звуковой волны в воздухе, м; n - число ребер экрана, через которые проникает звук ($n = 3$); h - высота экрана, м; φ - угол дифракции;

и в источниках [15-17]:

$$\begin{aligned} \Delta L_3 = & -10 \lg \left\{ r_0^2 \left[\frac{2\tau_3}{\pi R^2} \arctan \frac{ab}{2D\sqrt{4D^2 + a^2 + b^2}} + \right. \right. \\ & + \frac{RD\lambda k_\phi (1 - k_y a_i)}{2\pi} \left(\sum_{i=1}^3 \frac{1}{R_{bi}^3 D_{bi}^2} \arctan \frac{b}{2D_{b1}} + \frac{1}{R_{b2}^3 D_{b2}^2} \arctan \frac{ah}{D_{a2}\sqrt{4D_{a2}^2 + a^2 + 4h^2}} \right) + \\ & \left. \left. + \frac{1 - a_n}{\pi h_i^2} \left(\sum_{i=1}^3 \arctan \frac{D(b+2h)}{2bh_p} - \arctan \frac{D_b - 2hR}{2bh_p} \right) + \frac{1 - a_n}{(h_u + h_p)^2 + r^2} \right] \right\}, \quad (9) \end{aligned}$$

где r_0 - расстояние от источника шума до расчетной точки, м; τ_3 - коэффициент звукопроводности материала экрана $\tau_3 = 10^{-0,13I}$; R - расстояние от источника шума до акустического экрана, м; a, b - линейные размеры экрана, м; D - расстояние от акустического экрана до расчетной точки, м; k_ϕ - коэффициент формы ребра экрана; для плоских прямоугольных экранов $k_\phi = 1$, для Г-образных $k_\phi = 0,5$; k_y - коэффициент, учитывающий наклонное падение звука на звукопоглощающий материал экрана; для больших углов дифракции ($\varphi \geq 100^\circ$) $k_y = 0,5 \div 0,7$; R_{bi} - расстояние от источника шума до i -го ребра акустического экрана соответственно размерами a_i и b_i , м; D_{ai}, D_{bi} - расстояние от расчетной точки до ребра акустического экрана соответственно размерами a_i и b_i , м; h_i, h_p - соответственно высота расположения источника шума и расчетной точки, м.

Зависимость (8) проще и удобнее для инженерных расчетов. Следует отметить, что эта зависимость наиболее целесообразна для значений требуемой акустической эффективности экрана не более 4дБ. Данная зависимость приведена к следующему виду:

$$\begin{aligned}\Delta L &= 10lg \left(8\pi^2 \frac{hf}{344} \tan \frac{\varphi}{2} \right) - 10lg 3 = \\ &= 10lg \left(0,25hfyg \frac{\varphi}{2} \right) - 5 = 10lghftg \frac{\varphi}{2} - 11.\end{aligned}$$

Для среднегеометрических частот получены следующие зависимости акустической эффективности:

$$\begin{aligned}f = 31,5 &\rightarrow \Delta L = 10lghtg \frac{\varphi}{2} + 4; \\ f = 63 &\rightarrow \Delta L = 10lghtg \frac{\varphi}{2} + 30; \\ f = 125 &\rightarrow \Delta L = 10lghtg \frac{\varphi}{2} + 37; \\ f = 250 &\rightarrow \Delta L = 10lghtg \frac{\varphi}{2} + 44; \\ f = 500 &\rightarrow \Delta L = 10lghtg \frac{\varphi}{2} + 51; \\ f = 1000 &\rightarrow \Delta L = 10lghtg \frac{\varphi}{2} + 58; \\ f = 2000 &\rightarrow \Delta L = 10lghtg \frac{\varphi}{2} + 65; \\ f = 4000 &\rightarrow \Delta L = 10lghtg \frac{\varphi}{2} + 72; \\ f = 8000 &\rightarrow \Delta L = 10lghtg \frac{\varphi}{2} + 79.\end{aligned}$$

Преимущество (9) зависимости заключается в том, что в ней учтена звукопроводность экрана. Поэтому данная формула целесообразна для экранов со значением требуемой акустической эффективности более 6 дБ.

Заключение

В результате теоретической оценки были получены формулы расчета ожидаемых уровней шума в машинном отделении, пассажирском салоне и на рабочем месте машиниста с учетом особенностей компоновки источников шума и конструкций исследуемых объектов.

По результатам ряда преобразований получены формулы для подбора параметров звукопоглощающих материалов и требований к конструкции акустического экрана (не сплошной перегородки).

В перспективе, данные расчетные методики позволят использовать их при оценке акустического воздействия на рабочих местах и при выборе шумозащитных мероприятий, что в свою очередь позволит улучшить условия труда работников железнодорожного транспорта, в частности, рабочих бригад по обслуживанию путей и машинистов дрезин и автомотрис.

Список литературы

1. Интернет ресурс: <https://static-0.minzdrav.gov.ru/>. Режим доступа: свободный. Дата посещения - 15.08.2022.
2. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. - М.: Логос, 2013. - 432 с.
3. Yaitskov I.A., Chukarin A.N., Finotchenko T.A. Theoretical research of noise and vibration spectra in cabins of locomotive and diesel shunting locomotive // International journal of applied engineering research. 2017. V. 12. № 21. pp. 10724 - 10730.
4. Finochenko T., Yizkov I., Dergacheva L. Risk Management in Transportation Safety System // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 2. P. 144-145.
5. Nazaretov A., Yaitskov I., Chukarin A. The Derivation of the Noise Level Dependences and Vibration Velocities of Elements and Units of the Drive System of the Rail Grinding Machines // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Earth and Environmental Science 720 (2021) 012014. IOP publishing doi:10.1088/1755-1315/720/1/012014.
6. Chukarin A., Bondarenko V. Generation regularities of vibration and noise spectra of the gearboxes of overhead traveling crane // АКУСТИКА. 2019. Vol. 32. P. 120-122.
7. Шашурин А.Е. Зависимость шума в кабинах строительно-дорожных машин от режимов работы // Защита населения от повышенного шумового воздействия. Сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Под редакцией Иванова Н.И. 2014. С. 597-601.
8. Иванов Н.И., Курцев Г.М., Шашурин А.Е. Расчет ожидаемой шумности в кабинах при проектировании строительных машин // Безопасность жизнедеятельности. 2009. № 8 (104). С. 35-39.
9. Бойко Ю.С., Шашурин А.Е., Cardona Joan, Albaladejo Marc. Исследование процессов шумообразования при движении высокоскоростных поездов // Noise theory and practice.- Том: 1, №: 2 (2) - 2015 - С.84-89.
10. Борисов Л.П., Гужас Д.Р. Звукоизоляция в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1990. - 250 с.
11. Сергиенко В.П., Бухаров С.Н., Колесников И.В. Снижение шума и вибрации транспортных средств. Под общ. ред. Ака. РАН В.И. Колесникова. - М.: Машиностроение, 2014. - 297 с.
12. Шашурин А.Е. Расчет шума в кабинах строительно-дорожных машин // Известия самарского научного центра российской академии наук. 2010. Том: 12, № 1-9. С. 2271-2276.
13. Shashurin A., Fiev K., Vasilyeva V., Voronkov A. Development of the methodology for measuring noise levels in the underground rolling stock // Akustika. 2021. № 39. P. 185-190.
14. Yaitskov I.A., Chukarin A.N. The efficiency of the noise reduction levels of the locomotives and diesel locomotives // АКУСТИКА. 2019. Vol. 32. P. 92-96.
15. Yaitskov I.A. Theoretical study of the vibro-acoustic characteristics of the elements of the cabins of motor vehicles Scientific journal "Bulletin of the Ural State University of Railways" (Yekaterinburg) 2018.2 (38) P. 42-49.
16. Иванов Н.И., Кришневский Б.А. Анализ эффективности звукоизолирующих кабин самоходных машин. Борьба с шумом и вредными вибрациями в строительстве. - Ленингр. Дом н.-т пропаганды. Л.: 1982. - С. 45-51.
17. Borisova, A., Finochenko, T., Finochenko, V. The Use of the Expert Method in Solving the Issues of Choosing the Instrumentation of the Procedure for Controlling Production Factors // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; IOP Publishing ([Bristol, UK], England), 2021.Vol. 666. №2. doi:10.1088/1755-1315/666/2/ 022022.

References

1. Web-resource: <https://static-0.minzdrav.gov.ru/>. Access: free. Date of visit - 15.08.2022.
2. Ivanov N.I. Engineering acoustics. Theory and practice of noise control: textbook. - M.: Logos, 2013. - 432 p.
3. Yaitskov I.A., Chukarin A.N., Finotchenko T.A. Theoretical research of noise and vibration spectra in cabins of locomotive and diesel shunting locomotive // International journal of applied engineering research. 2017. V. 12. № 21. pp. 10724 - 10730.
4. Finochenko T., Yizkov I., Dergacheva L. Risk Management in Transportation Safety System // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 2. P. 144-145.
5. Nazaretov A., Yaitskov I., Chukarin A. The Derivation of the Noise Level Dependences and Vibration Velocities of Elements and Units of the Drive System of the Rail Grinding Machines // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Earth and Environmental Science 720 (2021) 012014. IOP publishing doi:10.1088/1755-1315/720/1/012014.
6. Chukarin A., Bondarenko V. Generation regularities of vibration and noise spectra of the gearboxes of overhead traveling crane // Akustika. 2019. Vol. 32. P. 120-122.
7. Shashurin A. Zavisimost' shuma v kabinah stroitel'no-dorozhnyh mashin ot rezhimov raboty // Zashchita naseleniya ot povyshennogo shumovogo vozdeystviya. Sbornik dokladov II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Pod redakciej Ivanova N.I. 2014. pp. 597-601.
8. Ivanov N., Kurcev G., Shashurin A. Raschet ozhidaemoj shumnosti v kabinah pri proektirovanii stroitel'nyh mashin // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2009. № 8 (104). pp. 35-39.
9. Bojko J., Shashurin A., Cardona Joan, Albaladejo Marc. Issledovanie processov shumooobrazovaniya pri dvizhenii vysokoskorostnyh poezdov // Noise theory and practice.- Tom: 1, №: 2 (2) - 2015 - pp.84-89.
10. Borisov L.P., Guzhas D.R. Zvukoizolyaciya v mashinostroenii. - M.: Mashinostroenie, 1990. - 250 p.
11. Sergienko V., Bukharov S., Kolesnikov I. Noise reduction and vehicle vibrations. Under total ed. Aka. RAS V.I. Kolesnikov. - M.: Mashinostroenie, 2014. - 297 p.
12. Shashurin A. Raschet shuma v kabinah stroitel'no-dorozhnyh mashin // Izvestiya samarskogo nauchnogo centra rossijskoj akademii nauk. 2010. Tom: 12, № 1-9. pp. 2271-2276
13. Shashurin A., Fiev K., Vasilyeva V., Voronkov A. Development of the methodology for measuring noise levels in the underground rolling stock // Akustika. 2021. № 39. P. 185-190.
14. Yaitskov I.A., Chukarin A.N. The efficiency of the noise reduction levels of the locomotives and diesel locomotives // Akustika. 2019. Vol. 32. P. 92-96.
15. Yaitskov I.A. Theoretical study of the vibro-acoustic characteristics of the elements of the cabins of motor vehicles Scientific journal "Bulletin of the Ural State University of Railways" (Yekaterinburg) 2018.2 (38) P. 42-49.
16. Ivanov N.I., Krishnevskij B.A. Analiz effektivnosti zvukoizoliruyushchih kabin samohodnyh mashin. Bor'ba s shumom i vrednymi vibracijami v stroitel'stve. - Leningr. Dom n.-t propagandy. L.: 1982. - pp. 45-51.
17. Borisova, A., Finochenko, T., Finochenko, V. The Use of the Expert Method in Solving the Issues of Choosing the Instrumentation of the Procedure for Controlling Production Factors // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; IOP Publishing ([Bristol, UK], England), 2021.Vol. 666. №2. doi:10.1088/1755-1315/666/2/ 022022.