

УДК: 629.423.004.69+06

OECD: 01.03

Разработка практических мероприятий по снижению общей вибрации на рабочем месте машиниста вагона-электростанции восстановительного поезда

Крутова В.А.^{1*}, Фролова Д.С.², Элькин Ю.И.³

¹Д.т.н., доцент, профессор кафедры «Механика деформируемого твердого тела»,

²Соискатель кафедры «Экология и производственная безопасность»,

³Д.т.н., профессор кафедры «Техносферная безопасность»

^{1,2}Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»

им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

³Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
(МАДИ)

Аннотация

Восстановительные поезда играют важную роль в обеспечении бесперебойной работы сети железной дороги, устраняя в кратчайшие сроки аварии различного характера. Поэтому машинисты вагонов-электростанций должны выполнять свои трудовые функции в оптимальных условиях труда, не мешающих концентрации внимания. Задача обеспечения безопасных условий труда по критерию выполнения санитарных норм общей вибрации является актуальной применительно к данному объекту исследования. В статье рассмотрены причины возникновения общей вибрации на рабочих местах машинистов вагонов-электростанций восстановительных поездов. Приведены результаты измерений общей вибрации на рабочем месте машиниста. Предложена модернизированная стойка кресла машиниста с улучшенными виброгасящими свойствами, которая позволяет снизить негативное воздействие общей вибрации до санитарных норм.

Ключевые слова: вибрация, санитарные нормы, виброакустические характеристики, рабочие места, вагон-электростанция, дизель-генераторная установка, способы снижения шума.

Development of practical measures to reduce the overall vibration at the workplace of the driver of the power car of the recovery train

Krutova V.A.^{1}, Frolova D.S.², Elkin Yu.I.³*

¹DSc, Associate Professor, Professor of the Department of Mechanics of Deformable Solids, ²Applicant for the Department of Ecology and Industrial Safety,

³DSc, Professor of the department of Technosphere Safety

^{1,2}Baltic State Technical University 'VOENMEH', St. Petersburg, Russia,

³Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)

Abstract

Recovery trains play an important role in ensuring the smooth operation of the railway network, eliminating accidents of various types as soon as possible. Therefore, the drivers of power wagons must perform their work functions in optimal working conditions that do not interfere with concentration. The task of ensuring safe working conditions according to the criterion of compliance with sanitary standards of general vibration

is relevant in relation to this object of research. The article discusses the causes of general vibration in the workplaces of drivers of power plant wagons of recovery trains. The results of measurements of the general vibration at the driver's workplace are presented. An upgraded driver's seat stands with improved vibration damping properties is proposed, which reduces the negative impact of general vibration to sanitary standards.

Keywords: vibration, sanitary standards, vibroacoustic characteristics, workplaces, a power car, a diesel generator set, ways to reduce noise.

Введение

В кабинах управления, где располагаются рабочие места операторов (машинистов), различного подвижного состава, в том числе в кабинах путевых и дорожно-строительных машин, воздействует общая вибрация, которая может формироваться в результате транспортного или технологического режима работы. В большинстве случаев на рабочих местах возникают превышения над предельно допустимыми уровнями общей вибрации [1-3]. Столь высокие превышения объяснимы тем фактом, что рабочие органы таких машин являются исполнительными механизмами вибрационного действия, то есть возникают ударные нагрузки, взаимное соударение деталей и узлов и так далее. Машинисты

в вагонах-электростанциях восстановительного поезда подвергаются воздействию общей вибрации, источником которой являются дизель-генераторные установки большой мощности и располагающиеся близ рабочего места. Поэтому условия эксплуатации оборудования и режимы работы вносят значительный вклад в процессы возбуждения вибрации на рабочих местах операторов.

1. Постановка задачи исследования

Вагоны-электростанции восстановительных поездов зачастую могут формироваться из почтово-багажных, грузовых крытых или рефрижераторных переформированных вагонов подвижного состава. При таком способе вагон представляет собой только стены с окнами и пол, а перегородки могут отсутствовать изначально или быть демонтированы. Количество дизель-генераторных установок (ДГУ) в составе вагона при этом может быть максимальным, а такое оборудование, как слесарный стол или настольный станок, может быть не изолировано от дизельного отделения, соответственно рабочие места персонала находятся в непосредственном контакте с дизель-генераторами. Уровни общей вибрации на рабочем месте машиниста вагона-электростанции, значительно превышающие санитарные нормы [4-7], возникают вследствие работающих внутри дизель-генераторных установок.

На рисунке 1 представлена наглядная гистограмма сравнения реальных превышений эквивалентных уровней виброускорения на рабочем месте машиниста вагона-электростанции над установленной санитарной нормой.

В связи со спецификой данных источников шума и вибрации не представляется возможным исключить их воздействие путем конструктивного вмешательства в саму их конструкцию [8-16]. Дизель-генераторная установка находится внутри вагона-электростанции и располагается на полу, то есть несущая рама является единой и для рабочего места оператора, и для источника звука. В этом случае следует учесть, что пол является наиболее вибронегруженным элементом по степени прохождения вибрации. В связи с техническими сложностями, препятствующими снижению вибрации внутри самой дизель-генераторной установки, предлагается обеспечить необходимые

условия труда непосредственно на рабочем месте машиниста, то есть на полу, где располагаются его ноги, и на самом сиденье.

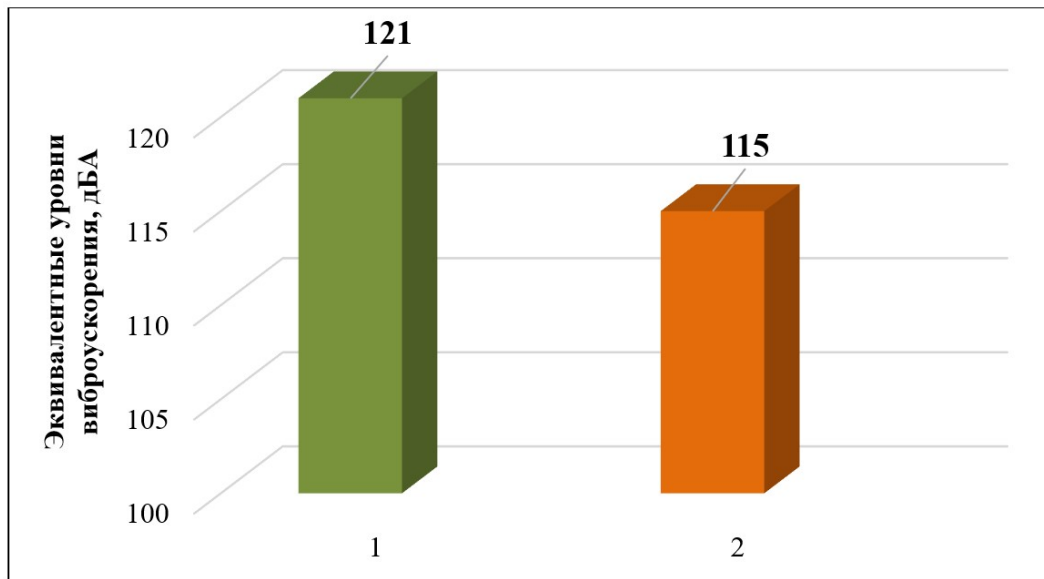


Рис. 1. Эквивалентные скорректированные уровни виброускорения по осям:
1 – фактические значения; 2 – санитарная норма

2. Практические мероприятия по снижению воздействия общей вибрации

Стандартная стойка кресла машиниста представляет собой две металлические пластины с цилиндрической стойкой посередине, в которой установлен механизм подъема сиденья (рисунок 2).



Рис. 2. Пример стандартной стойки кресла машиниста вагона-электростанции

В таблице 1 приведены измерения общей вибрации на рабочем месте машиниста вагона-электростанции восстановительного поезда на сиденье машиниста по координате Z_0 . Полученные фактические значения сравнивались с предельно допустимыми значениями. Из результатов сравнения видно, что такая конструкция кресла недостаточно снижает воздействие колебаний на опорно-двигательный аппарат машиниста.

Таблица 1

Предельно допустимые значения и фактические значения уровней производственной вибрации

Вид вибрации	Категория вибрации	Направление действия	Фильтр частотной коррекции	Эквивалентные корректированные уровни виброускорения		Фактические эквивалентные корректированные уровни виброускорения	
				м/с ²	дБА	м/с ²	дБА
Общая	Транспортная вибрация на рабочих местах в транспортных средствах, самоходных и прицепных машинах при движении.	Z_0	W_k	0,56	115	2,24	121

С учетом современных научных исследований ведущих отечественных ученых в области акустики и безопасности труда [1] предлагается исходную стойку кресла демонтировать и заменить ее на модернизированный вариант с виброгасящими элементами внутри стоек. Предлагаемая конструкция кресла представляет собой пластинчато-стержневую конструкцию, включающую нижнюю и верхнюю пластины, а также четыре вертикальные стойки.

Следует обращать внимание также на защиту ног машиниста вагона-электростанции, поэтому под стойкой кресла целесообразно расположить стальную пластину, покрытую резиной марки 1002. Далее предлагается установить модернизированную стойку кресла (рисунок 3), которая представляет собой конструкцию двух связанных пластин: пластины основания нижней 1 и пластины основания верхней 2, связанных за счет стакана 4 и трубы 5, внутри которых находится цилиндрическая пружина с виброгасителем из эластомера 3, две тарельчатые пружины 6

и прокладка 7, выполненная также в виде тарельчатой пружины из эластомера (рисунок 4). В случае возникновения резонанса виброизолятора применяется демпфер внутри пружины. Натяг цилиндрической пружины регулируется с помощью болта 8. Регулировкой болта обеспечивается вертикальное положение пластины основания верхней при изменении внешней нагрузки Р. Болты, предусмотренные в конструкции, позволяют при необходимости регулировать высоту пружины и обеспечивает комфортные условия труда машиниста. Общие габаритные размеры: 220–260x225x225 мм. Статическая осадка виброизолятора под действием массы может регулироваться двумя способами: первый, это масса самого машиниста, второй, это искусственно заданная масса с помощью пластины, которую предлагается вводить дополнительно. Преимущество второго способа состоит в том, что при вводе массы заданной величины можно точно определить значение необходимой статической осадки и снизить воздействие общей вибрации, тогда как зависимость от массы машиниста не дает такой возможности с учетом разных физиологических показателей человека.

В пластину основания верхнюю 2 запрессован подшипник 153506 9 [17], обеспечивающий вращение вокруг своей оси кресла оператора. Данный подшипник в таком исполнении способен работать в условиях воздействия уровней повышенной вибрации, снижая негативное воздействие от нее не только на всю конструкцию, но и на само сиденье. Труба 5 прикреплена к пластине 2 с помощью сварки. Стакан 4 прикреплен к пластине 1 посредством болтового соединения, с помощью болта 10. Эти соединения обеспечивают неподвижность трубы 5 относительно пластины 2, с возможностью установки регулировочного болта 8 и соответственно неподвижность стакана 4 относительно пластины 1 с возможностью поворота вокруг своей оси.

Эффективность применения модернизированной стойки кресла машиниста вагона-электростанции оценивалась по показателю виброизоляции [1]:

$$ВИ = 20 \lg \frac{f_v}{f_c}, \quad (1)$$

где f_v – частота вынужденных колебаний, Гц; f_c – частота собственных колебаний, Гц.

$$f_c = \frac{5}{\sqrt{x}}, \quad (2)$$

где x – статическая осадка виброизоляторов под действием сжимающей силы, см.

Материал изготовления цилиндрической пружины сжатия принимаем сталь 12Х18Н10Т. Геометрические размеры пружины принимаем по ГОСТ 18793-80 «Пружины сжатия»:

- длины ненагруженной пружины $H_0 = 140$ мм,
- диаметр прутка пружины $d = 4$ мм,
- наружный диаметр пружины $D_a = 22$ мм,
- внутренний диаметр пружины $D_i = 14$ мм,
- полное число витков $n = 18$.

По исходным данным рассчитаем длину пружины, сжатой до соприкосновения витков:

$$H_{пр} = (n - 0,5)d = 70 \text{ мм}. \quad (3)$$

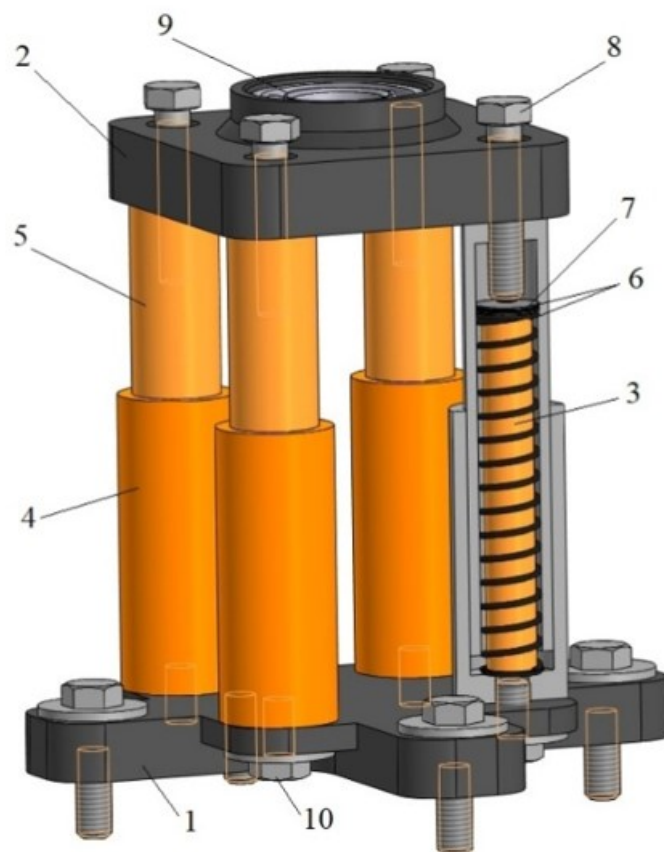


Рис. 3. 3D-модель стойки кресла машиниста вагона-электростанции: 1 – пластина основания нижняя; 2 – пластина основания верхняя; 3 – цилиндрическая пружина с виброгасителем; 4 – стакан; 5 – труба; 6 – тарельчатая пружина; 7 – прокладка; 8 – регулировочный болт; 9 – подшипник радиально-роликовый сферический двурядный; 10 – болт крепления

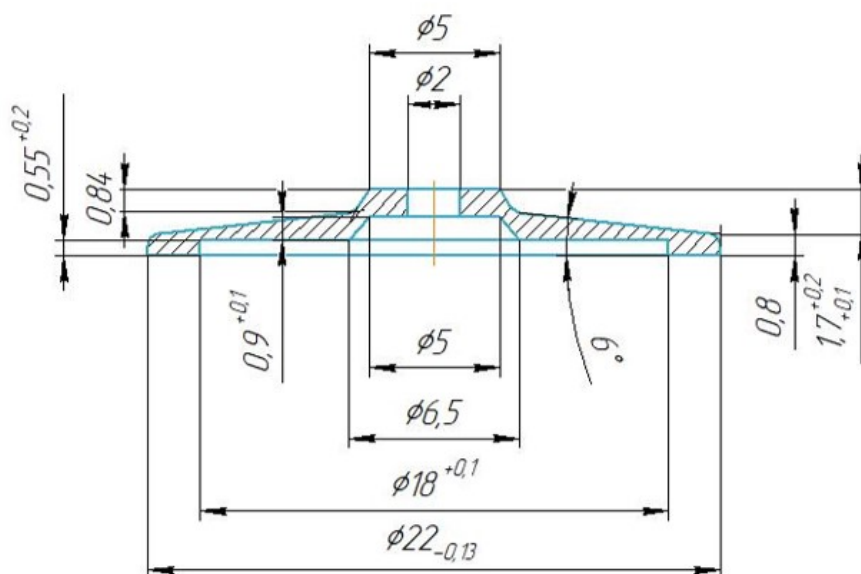


Рис. 4. Тарельчатая пружина

Эффективность виброизоляции напрямую зависит от частоты собственных колебаний, то есть от статической осадки под действием массы. Например, при $x = 4$ см $f_c = 2,5$ Гц, а при $x = 1$ см $f_c = 5$ Гц. В таблице 2 приведены результаты расчета.

Таблица 2

Результаты расчета эффективности виброизоляции сиденья машиниста вагона-электростанции

Величина статической осадки, см	Параметр расчета	Расчетные значения				
		f_B , Гц	4	8	16	31,5
при $x_1 = 1$	f_c , Гц	5	5	5	5	5
	$ВИ = 20lg \frac{f_B}{f_c}$	-2	4	10	16	22
при $x_2 = 2$	f_c	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
	$ВИ = 20lg \frac{f_B}{f_c}$	1	7	13	19	25
при $x_3 = 3$	f_c	3	3	3	3	3
	$ВИ = 20lg \frac{f_B}{f_c}$	2,3	8,3	14,5	20,5	26,5
при $x_4 = 4$	f_c	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	$ВИ = 20lg \frac{f_B}{f_c}$	4	10	16	22	28
при $x_5 = 5$	f_c	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
	$ВИ = 20lg \frac{f_B}{f_c}$	5	11	17	23	29

Анализ приведенных расчетов показывает, что предложенные меры по снижению общей вибрации на рабочем месте машиниста позволяют снизить вредное воздействие до предельно допустимых значений.

Заключение

В статье рассмотрены причины возникновения общей вибрации на рабочих местах машинистов вагонов-электростанций восстановительных поездов. Для снижения вибрации, воздействующей на работников в дизельном отделении вагона-электростанции, было разработано рабочее место (сиденье) машиниста вагона-электростанции, обладающее модернизированной стойкой с виброгасящими свойствами, которое позволяет защитить рабочее место от воздействия общей вибрации и снизить негативное воздействие до санитарных норм.

Список литературы

1. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. – М.: Логос, 2013. – 432 с.
2. Баланова, М. В. Экспериментальные исследования шума кранов на железнодорожном ходу / М. В. Баланова // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 3(50). – С. 36. – EDN YRQNCР.

3. Куклин, Д. А. Моделирование структурного шума, возникающего при контакте рельса и колеса / Д. А. Куклин, П. В. Матвеев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 1 (5). – С. 1908–1919. –ISSN 1990-5378.
4. Ivan A. Yaitskov, Alexander N. Chukarin and Tatiana A. Finotchenko. Theoretical Research of Noise and Vibration Spectra in Cabins of Locomotive and Diesel Shunting Locomotive // International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 12, Number 21(2017) pp.10724-10730.
5. Моделирование виброакустической динамики рельса на шпалах. Подуст С.Ф., Куклин Д.А. Вестник Донского государственного технического университета. 2013. Т. 13. № 1-2 (70-71). С. 106-111.
6. Новикова А.В., Салкуцан В.И. Исследование и анализ гигиенического нормирования производственной вибрации / А.В., Новикова, В.И. Салкуцан // Noise Theory and Practice. - № 7(2). - 2021. - С. 103-110.
7. Елисеев А.В., Кузнецов Н.К., Миронов А.С. Системный подход к оценке состояний вибрационных полей технических объектов в задачах динамики транспортных и технологических машин / А.В. Елисеев, Н.К. Кузнецов, А.С. Миронов // // Noise Theory and Practice. - № 9(2). - 2023. - С. 65-81.
8. Krutova, V. Deriving the Dependencies for the Vibrating Capacity Introduced into Wheelset Assemblies / V. Krutova // Journal Akustika. – Dec. 2021. – Vol. 41, No. 41. – URL: <https://www.journalakustika.com/index.php/akustika/article/view/77> (датаобращения: 28.02.2024).
9. Dittrich, M.G. Improved measurement methods for railway rolling noise / M.G. Dittrich, M. H. A. Janssens // Journal of Sound and Vibration. – USA, 2000. – Vol. 231(3). – P. 595–609. – DOI 10.1006/JSVI.1999.2547.
10. Подуст, С. В. Исследования шумообразования на рабочих местах локомотивных бригад от воздействия акустического излучения внутренних источников / С. В. Подуст // Вестник Донского государственного технического университета. – 2016. – Т. 16, № 4(87). – С. 104–109. – DOI 10.12737/22150.
11. Патент № RU 171794 U1 Звукопоглощающая панель для шумозащитной конструкции: № 2016141361 : заявл. 20.10.2016 : опубл. 16.06.2017 / А.Е. Шашурин, И.Н. Заплетников, В.А. Кириченко, Н.И. Иванов, К.В. Бужинский, В.В. Светлов, Ю.С. Бойко; заявитель, патентобладатель БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.
12. Shashurin A. Analysis of the experimental study of the axle lathe machine vibroacoustic characteristics for workplace noise reduction / A. Shashurin, K. Buzhinskiy, M. Gogvadze, E. Yuriy // Akustika. - 2019. - № 34. - С. 106-108.
13. Фролова, Д. С. Методика проведения экспериментальных исследований шума и вибрации вагонов-электростанций / Д. С. Фролова // Обеспечение надежности, качества и безопасности технологических машин и оборудования: материалы Всероссийской национальной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2023. – С.
14. Крутова, В.А.: Научное обоснование способов снижения виброакустических характеристик мостовых кранов при проектировании и эксплуатации: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 1.3.7 / Крутова Вероника Александровна. – Ростов-на-Дону, 2023. – 263 с.
15. Баланова, М.В. Роль «человеческого фактора» в обеспечении безопасности железнодорожного транспорта / Баланова М.В., Гомелев В.В., Переверзев И.Г., Финоченко Т.А.// Сб. трудов науч.-практ. конф. «Транспорт и логистика: Инновационное развитие в условиях глобализации технологических и экономических связей – 2018».
16. Полянский В.А., Смирнова Н.А. Модальные алгоритмы подавления упругих

вибраций: ограничения и перспективы / В.А. Полянский, Н.А. Смирнова // *Noise Theory and Practice*. - № 9(1). - 2023. - С. 52-64

17. Никифорова, Г.Н. Исследование радиальных и радиально-упорных скоростных шарикоподшипников как источников механических колебаний / Г.Н. Никифорова, А.К. Явленский, К.Н. Явленский // УП Всесоюзная акустическая конференция по физической и технической акустике. – Л.: 1973. – С. 332-334.

References

1. Ivanov N.I. *Engineering acoustics. Theory and practice of noise control: textbook*. – М.: Logos, 2013. – 432 p.

2. Balanova, M. V. Experimental studies of the noise of cranes on a railway track / M. V. Balanova // *Engineering Bulletin of the Don*. – 2018. – № 3(50). – P. 36. – EDN YRQNCР.

3. Kuklin, D. A. Modeling of structural noise arising from the contact of a rail and a wheel / D. A. Kuklin, P. V. Matveev // *Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. – 2014. – Vol. 16, No. 1 (5). – pp. 1908-1919. –ISSN 1990-5378.

4. Ivan A. Yaitskov, Alexander N. Chukarin and Tatiana A. Finotchenko. Theoretical Research of Noise and Vibration Spectra in Cabins of Locomotive and Diesel Shunting Locomotive // *International Journal of Applied Engineering Research* ISSN 0973-4562 Volume 12, Number 21(2017) pp.10724-10730.

5. Modeling of vibro-acoustic dynamics of a rail on sleepers. Podust S.F., Kuklin D.A. *Bulletin of the Don State Technical University*. 2013. Vol. 13. No. 1-2 (70-71). p. 1

6. Novikova A.V., Salkutsan V.I. Research and analysis of hygienic regulation of industrial vibration / A.V., Novikova, V.I. Salkutsan // *Noise Theory and Practice*. - № 7(2). - 2021. - Pp. 103-110.

7. Eliseev A.V., Kuznetsov N.K., Mironov A.S. A systematic approach to assessing the states of vibrational fields of technical objects in problems of dynamics of transport and technological machines / A.V. Eliseev, N.K. Kuznetsov, A.S. Mironov // // *Noise Theory and Practice*. - № 9(2). - 2023. - Pp. 65-81.

8. Krutova, V. Deriving the Dependencies for the Vibrating Capacity Introduced into Wheelset Assemblies / V. Krutova // *Journal Akustika*. – Dec. 2021. – Vol. 41, No. 41. – URL: <https://www.journalakustika.com/index.php/akustika/article/view/77> (date of address: 02/28/20249)

9. Dittrich, M.G. Improved measurement methods for railway rolling noise / M.G. Dittrich, M. H. A. Janssens // *Journal of Sound and Vibration*. – USA, 2000. – Vol. 231(3). – pp. 595-609. – DOI 10.1006/JSVI.1999.2547. Podust, S.V. Research of noise generation at workplaces of locomotive crews from the effects of acoustic radiation from internal sources / S.V. Podust // *Bulletin of the Don State Technical University*. – 2016. – T. 16, No. 4(87). – pp. 104–109. – DOI 10.12737/22150.

10. Podust, S. V. Studies of noise formation in the workplaces of locomotive crews from the effects of acoustic radiation from internal sources / S. V. Podust // *Bulletin of the Don State Technical University*. - 2016. – Vol. 16, No. 4(87). – pp. 104-109. – DOI 10.12737/22150.

11. Patent No. RU 171794 U1 Sound-absorbing panel for noise-proof construction: No. 2016141361 : application 20.10.2016 : publ. 16.06.2017 / A.E. Shashurin, I.N. Zapletnikov, V.A. Kirichenko, N.I. Ivanov, K.V. Buzhinsky, V.V. Svetlov, Yu.S. Boyko; applicant, patent holder of BSTU "VOENMEKH" named after D.F. Ustinov.

12. Shashurin A. Analysis of the experimental study of the axle lathe machine vibro

acoustic characteristics for workplace noise reduction / A. Shashurin, K. Buzhinsky, M. Goguadze, E. Yuriy // Akustika. - 2019. - No. 34. - pp. 106-108.

13. Frolova, D. S. Methodology for conducting experimental studies of noise and vibration of power plant wagons / D. S. Frolova // Ensuring reliability, quality and safety of technological machines and equipment : materials of the All-Russian National Scientific and Practical Conference. – Rostov-on-Don : RSUPS, 2023. – p

14. Krutova, V.A.: Scientific justification of ways to reduce the vibration-acoustic characteristics of overhead cranes in design and operation: dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences: 1.3.7 / Krutova Veronika Alexandrovna. – Rostov-on-Don, 2023. – 263 p.

15. Balanova, M.V. The role of the "human factor" in ensuring the safety of railway transport / Balanova M.V., Gomelev V.V., Pereverzev I.G., Finochenko T.A. // Proceedings of the scientific and practical conference "Transport and logistics: Innovative development in the context of globalization of technological and economic relations – 2018".

16. Polyansky V.A., Smirnova N.A. Modal algorithms for suppressing elastic vibrations: limitations and prospects / V.A. Polyansky, N.A. Smirnova // Noise Theory and Practice. - № 9(1). - 2023. - Pp. 52-64

17. Nikiforova, G.N. Research of radial and angular contact high-speed ball bearings as sources of mechanical vibrations / G.N. Nikiforova, A.K. Yavlensky, K.N. Yavlensky // UP All-Union Acoustic Conference on physical and technical acoustics. – L.: 1973. – pp. 332-334.