

## Лабораторные исследования упругих материалов подшпального основания трамвайных путей

А. В. Петряев, А. А. Сайдалиев

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** *Петряев А. В. Сайдалиев А. А. Лабораторные исследования упругих материалов подшпального основания трамвайных путей // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 1. — С. 161–169. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-161-169*

### Аннотация

**Цель:** Изучение упругих свойств подбалластных матов при динамическом воздействии. **Методы:** Одним из основных методов снижения вибрации в источнике его образования является виброизоляция путем укладки упругих материалов. Для оценки долговременного поведения подбалластных матов в конструкции пути проводились исследования упруго-динамических свойств матов «Элапор» и Sylomer австрийской фирмы Getzner. Образцы материалов отбирались с экспериментального участка через год после укладки с целью определения влияния эксплуатационных условий на характеристики исследуемых геосинтетических материалов. Измерения параметров вибрации проводились с помощью комплекта акселерометров и регистрирующего прибора МС-026. **Результаты:** Виброгасящий мат «Элапор» практически сразу сжимается, и в дальнейшем его динамический модуль упругости изменяется незначительно (что характерно для синтетических резин), а мат Sylomer ведет себя более «гибко». **Практическая значимость:** Проведенные исследования позволяют оценить эффективность применения упругих материалов подшпального основания в качестве средства борьбы с негативными явлениями (шум, вибрация), возникающими при движении трамвайных вагонов.

**Ключевые слова:** Шум, вибрация, трамвай, окружающая среда, электротранспорт, виброизоляция рельса.

### Введение

Рельсовый городской транспорт оказывает влияние на экологическое состояние прилегающей территории. Главными недостатками этого вида транспорта являются шум и вибрации, передаваемые в окружающую среду. Проведенные исследования показали негативное действие шума и вибрации на формирование среды городской территории и влияние этих условий на человека [1].

Неудовлетворительное состояние рельсового пути трамвая приводит к возникновению дополнительных источников вибрации и шума, что вызывает некомфортное состояние человека [2].

Исследования показали, что наибольшее влияние на увеличение шума при проезде трамвая оказывают геометрические неровности поверхности катания рельсов и колеса трамвайного вагона, техническое состояние трамвайного вагона и скорость движения трамвая [3, 4].

Для снижения шума и вибрации от проходящих трамваев на окружающие здания необходимы не только хорошая подвеска двигателя и трансмиссия, а также необходимо использовать специальные упругие материалы при прокладке трамвайных путей. Амортизационные устройства применяются для снижения вибрации зданий при устройстве фундаментов, уменьшающих передачу колебаний от грунта [5].

Наиболее эффективно снижение шума и вибрации в источнике его образования. Для этого используется шлифование рельсов, которое устраняет неровности в виде волнообразного износа, влияющие на интенсивность шума качения. Снижение звукоизлучения рельса достигается установкой вибродемпфирующих накладок на шейку рельса, боковых профилей. Виброизоляция рельса достигается установкой прокладок под рельс [6].

Эффективным решением, позволяющим как снизить вибродинамическое воздействие на прилегающую территорию, так и значительно уменьшить уровень шума от подвижного состава, является укладка в подбалластный слой упругой прослойки в виде матов. Анализ исследований, выполненных в нашей стране и за рубежом, показывает, что введением упругих матов в подбалластный слой можно уменьшить уровень вибраций, снизить интенсивность накопления остаточных деформаций пути, замедлить процессы истирания щебня и за счет этого снизить затраты на содержание пути [7–9].

## Методы исследования

Для оценки изменения свойств во времени подбалластных матов в конструкции пути проводились исследования упруго-динамических свойств матов «Элапор» и Sylomer австрийской фирмы Getzner. Образцы материалов отбирались с экспериментального участка через год после укладки с целью определения влияния эксплуатационных условий на характеристики исследуемых геосинтетических материалов.

Производились измерения квазистатической характеристики упругости, а также показателей динамической жесткости на гидроимпульсной установке фирмы Getzner, представленной на рис. 1.

Геометрические размеры, объемный вес и коэффициент механических потерь испытуемых образцов из стирол-бутадиен-каучука («Элапор»), а также данные материала Sylomer приведены в табл. 1.



Рис. 1. Гидроимпульсная установка

ТАБЛИЦА 1. Характеристики образцов подбалластных матов

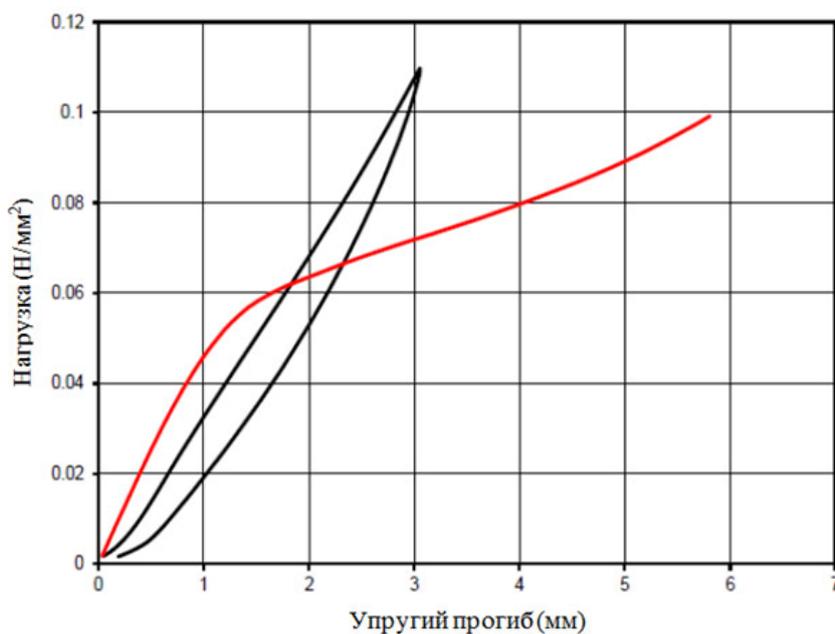
Характеристики	Элапор	Sylomer
Длина × ширина × толщина, мм	300 × 300 × 18,3	300 × 300 × 10,0
Объемный вес, кг/м <sup>3</sup>	735	275
Коэффициент механических потерь	0,14	0,17

В табл. 1 обращает на себя внимание высокий объемный вес образцов «Элапора», который более чем в 2,5 раза превышает данный показатель у материала Sylomer.

## Результаты и дискуссия

Полученные в результате лабораторных испытаний деформационные свойства образцов до укладки в путь представлены в виде графических зависимостей на рис. 2.

Упругий прогиб виброгасящего мата «Элапор» демонстрирует практически прямо пропорциональную зависимость от прикладываемой нагрузки и меняется от 0 мм до 3,1 мм при изменении нагрузки от 0,002 до 0,11 Н/мм<sup>2</sup>. При разгрузке в этом же диапазоне прямо пропорциональная зависимость сменяется зависимостью параболического типа. На графике (рис. 2) видно, что кривая упругого прогиба не возвращается в точку начала нагружения и останавливается на значении 0,2 мм. Очевидно, это связано с тем, что имеет место остаточная деформация образца либо необходим достаточно продолжительный временной период после снятия нагрузки, чтобы образец вернулся в исходное состояние.



– Sylomer; – «Элапор»

Рис. 2. Сравнение зависимостей упругого прогиба подбалластного мата от нагрузки на сжатие

Упругий прогиб материала Sylomer дает иную зависимость при приложении нагрузки. Сначала он плавно и медленно возрастает с 0 мм до 1,5 мм при изменении нагрузки от 0,002 Н/мм<sup>2</sup> до 0,058 Н/мм<sup>2</sup>, а затем при меньших степенях приложения нагрузки начинает увеличиваться быстрее, приобретая характер, близкий к линейному прямо пропорциональному типу, и изменяясь с 1,5 мм до 5,8 мм в интервале нагрузок от 0,058 Н/мм<sup>2</sup> до 0,1 Н/мм<sup>2</sup>.

Зависимость динамического модуля упругости от нагрузки на сжатие для исследуемых материалов представлена на рис. 3. При квазистатической частоте нагружения (кривая 1) динамический модуль упругости виброгасящего мата Элапор сразу возрастает от 0,02 Н/мм<sup>3</sup> до 0,04 Н/мм<sup>3</sup> в диапазоне нагрузок от 0,004 Н/мм<sup>2</sup> до 0,02 Н/мм<sup>2</sup>, затем плавно и незначительно снижается до 0,035 Н/мм<sup>3</sup> при изменении нагрузки от 0,02 Н/мм<sup>2</sup> до 0,04 Н/мм<sup>2</sup> и далее начинает также незначительно возрастать, приобретая линейный характер с 0,035 Н/мм<sup>3</sup> до 0,043 Н/мм<sup>3</sup> в интервале нагрузок от 0,04 Н/мм<sup>2</sup> до 0,11 Н/мм<sup>2</sup>.

При приложении нагрузки с частотами 10 Гц и 30 Гц наблюдается практически одинаковый характер поведения кривых, близкий к линейному. При частоте 10 Гц (кривая 2) динамический модуль упругости возрастает с 0,055 Н/мм<sup>3</sup> до 0,078 Н/мм<sup>3</sup> в диапазоне нагрузок от 0,01 Н/мм<sup>2</sup> до 0,085 Н/мм<sup>2</sup>. При частоте 30 Гц (кривая 3) динамический модуль упругости возрастает с 0,067 Н/мм<sup>3</sup> до 0,091 Н/мм<sup>3</sup> в том же интервале нагрузок.

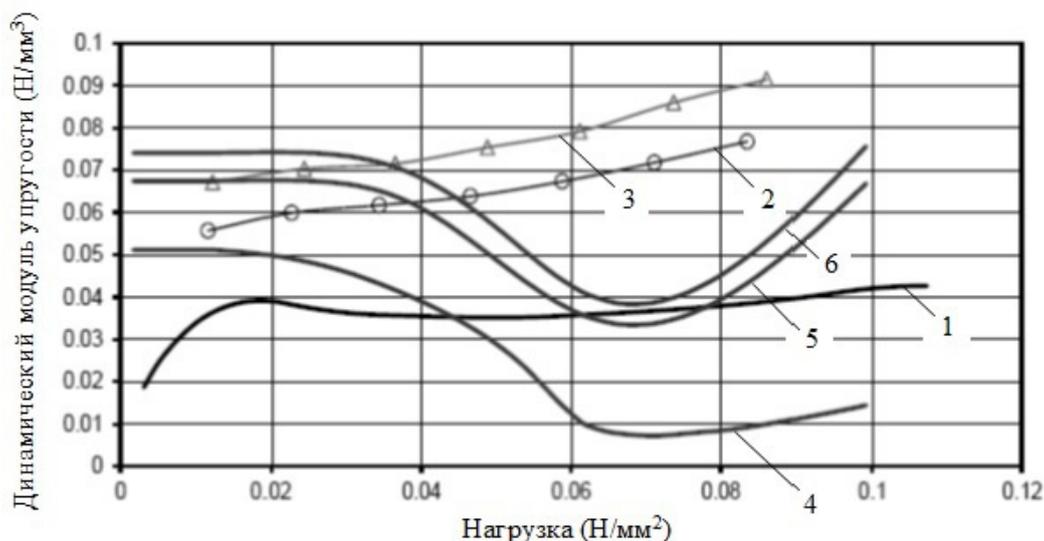


Рис. 3. Зависимость динамического модуля упругости от нагрузки на сжатие для образца «Элапор» и Sylomer при различных частотах приложения нагрузки:  
 1 — «Элапор»,  $f = 0$  Гц; 2 — «Элапор»,  $f = 10$  Гц; 3 — «Элапор»,  $f = 30$  Гц;  
 4 — Sylomer,  $f = 0$  Гц; 5 — Sylomer,  $f = 10$  Гц; 6 — Sylomer,  $f = 30$  Гц

При квазистатической частоте нагружения (кривая 4) динамический модуль упругости материала Sylomer сначала держится на одном уровне  $0,05 \text{ Н/мм}^3$  при изменении нагрузки от  $0,002 \text{ Н/мм}^2$  до  $0,02 \text{ Н/мм}^2$ , затем начинает плавно снижаться с  $0,05 \text{ Н/мм}^3$  до  $0,01 \text{ Н/мм}^3$  при диапазоне нагрузок от  $0,02 \text{ Н/мм}^2$  до  $0,065 \text{ Н/мм}^2$  и далее незначительно возрастать с  $0,01 \text{ Н/мм}^3$  до  $0,015 \text{ Н/мм}^3$  в интервале нагрузок от  $0,065 \text{ Н/мм}^2$  до  $0,1 \text{ Н/мм}^2$ .

При приложении нагрузки с частотами 10 Гц и 30 Гц наблюдается несколько иная картина, но характер поведения соответствующих кривых идентичен. При частоте 10 Гц (кривая 5) динамический модуль упругости сначала держится на одном уровне  $0,067 \text{ Н/мм}^3$  при изменении нагрузки от  $0,002 \text{ Н/мм}^2$  до  $0,03 \text{ Н/мм}^2$ , затем начинает плавно снижаться с  $0,067 \text{ Н/мм}^3$  до  $0,032 \text{ Н/мм}^3$  в интервале нагрузок от  $0,03 \text{ Н/мм}^2$  до  $0,07 \text{ Н/мм}^2$  и далее возрастать с  $0,032 \text{ Н/мм}^3$  до  $0,067 \text{ Н/мм}^3$  при диапазоне нагрузок от  $0,07 \text{ Н/мм}^2$  до  $0,1 \text{ Н/мм}^2$ . При частоте 30 Гц (кривая 6) динамический модуль упругости сначала держится на одном уровне  $0,073 \text{ Н/мм}^3$  в интервале нагрузок от  $0,002 \text{ Н/мм}^2$  до  $0,03 \text{ Н/мм}^2$ , затем начинает плавно снижаться с  $0,073 \text{ Н/мм}^3$  до  $0,038 \text{ Н/мм}^3$  при диапазоне нагрузок от  $0,03 \text{ Н/мм}^2$  до  $0,07 \text{ Н/мм}^2$  и далее возрастать с  $0,038 \text{ Н/мм}^3$  до  $0,073 \text{ Н/мм}^3$  при изменении нагрузки от  $0,07 \text{ Н/мм}^2$  до  $0,1 \text{ Н/мм}^2$ .

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что виброгасящий мат «Элапор» практически сразу сжимается и в дальнейшем его динамический модуль упругости изменяется незначительно (что характерно для синтетических резин), а мат Sylomer ведет себя более «гибко». Это обусловлено тем, что «Элапор» является по своей структуре пористым материалом, а Sylomer имеет замкнутые поры,

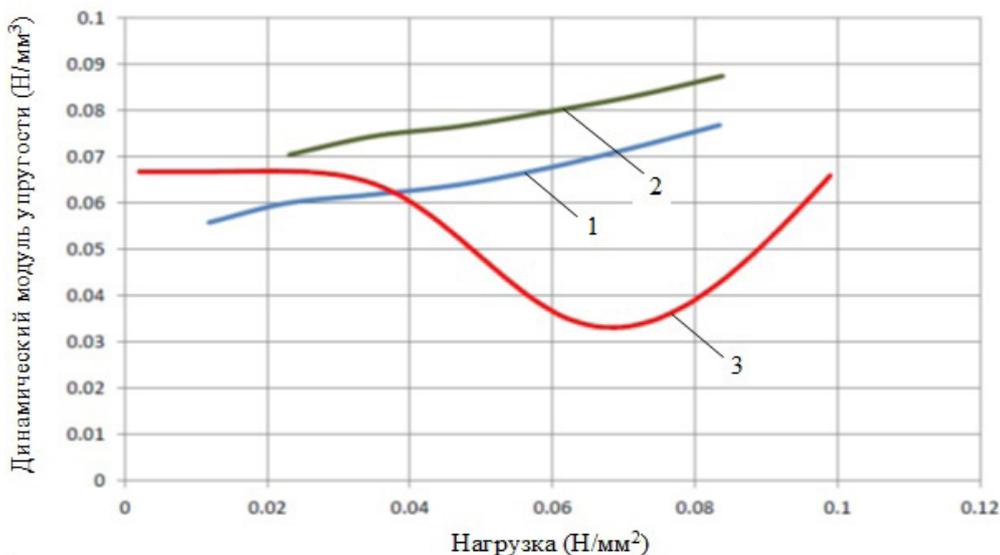


Рис. 4. Изменение динамического модуля упругости при частоте приложения нагрузки 10 Гц:

1 — «Элапор» до укладки в путь; 2 — «Элапор» после укладки в путь;  
3 — Sylomer после укладки в путь

которые при нагрузке лишь изменяют свои формы и размеры, обеспечивая влаго- и воздухопроницаемость.

Сравнение динамического модуля упругости исследованных материалов через год после укладки в путь показало, что материал Sylomer не поменял своих свойств в отличие от образцов «Элапор». Зависимости динамического модуля упругости материалов при частоте приложения нагрузки на сжатие 10 Гц представлены на рисунке 4.

Сравнение полученных зависимостей позволяет утверждать, что жесткость материала «Элапор» за год эксплуатации в пути увеличилась на 18 %, в отличие от материала матов Sylomer, который не изменил своих свойств.

Здесь следует обратить внимание на то, что ход изменения кривых динамического модуля упругости образцов «Элапор» стабильно прогрессивный, что типично для изделий из резины. Также следует отметить, что мат Sylomer при изменении нагрузки от 0,03 Н/мм² до 0,07 Н/мм² способен снижать динамический модуль упругости относительно своего начального уровня и удерживать его до нагрузки 0,1 Н/мм².

## Заключение

1. Жесткость материала «Элапор» за год эксплуатации в пути увеличилась на 18 %, в отличие от материала матов Sylomer, который не изменил своих свойств.

2. Ход изменения кривых динамического модуля упругости образцов «Элапор» стабильно прогрессивный, что типично для изделий из резины.

## Библиографический список

1. Юшков В. С. Диагностика рельсового пути электротранспорта / В. С. Юшков, В. И. Кычкин // Вестник МГСУ. — 2015. — № 1. — С. 36–43.
2. Сергеев А. А. Виброакустическая диагностика технического состояния участков трамвайных путей в целях снижения неблагоприятных факторов движения / А. А. Сергеев, М. Н. Мисюров, В. И. Кычкин // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием) (г. Пермь, 21 ноября 2014 г.). — С. 351–360.
3. Кычкин В. И. Оценка состояния рельсового пути городского электротранспорта мегаполиса / В. И. Кычкин, В. С. Юшков. — Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет. — С. 58–65.
4. Лакусик С. Влияние трамвайного движения на шум и вибрацию / С. Лакусик // Техническая акустика. — 2006. — № 13. — URL: <http://ejta.org>.
5. Кустенко А. А. Исследование влияния шума и вибрации в трамвайном движении / А. А. Кустенко // Вестник Курганского государственного университета. Серия: Технические науки. — 2017. — № 2(45). — С. 97–99.
6. Дудкин Е. П. Проблемы охраны труда и геоэкологической опасности городского транспорта / Е. П. Дудкин, В. А. Черняева // Технологии техносферной безопасности. — 2014. — Вып. 1(53). — URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
7. Патент № 168144 Российская Федерация, МПК В60В 17/00 (2006.01), 168 144. Шумопоглощающее колесо для железнодорожного транспорта / Ю. А. Панин, В. В. Березин, М. Л. Дисветов. — 2017. — Бюл. № 2(51).
8. Патент № 130319 Российская Федерация МПК E01В 19/00 (2006.01), 130 319. Устройство для уменьшения шума и/или вибраций на рельсовом транспорте / С. М. Пронин, Н. И. Питеев. — 2013. — Бюл. № 20.
9. Краскевич С. Статические и динамические характеристики упруги мтов для виброизоляции железнодорожных путей / С. Краскевич, С. Липко, М. Плудовска и др. // Procedia Engineering. — 2016. — № 153. — С. 317–324.

Дата поступления: 11.01.2023

Решение о публикации: 25.02.2023

### Контактная информация:

ПЕТРЯЕВ Андрей Владимирович — канд. техн. наук, ст. науч. сотр.; [pgups60@mail.ru](mailto:pgups60@mail.ru)

САЙДАЛИЕВ Абдунаим Абдурауфович — аспирант 1-го курса; [saidaliev18@mail.ru](mailto:saidaliev18@mail.ru)

# Laboratory Studies of Elastic Materials for Sleeper Base of Tram Tracks

A. V. Petriaev, A. A. Saydaliev

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** Petriaev A. V., Saidaliev A. A. Laboratory Studies of Elastic Materials for Sleeper Base of Tram Tracks. *Bulletin of scientific research results*, 2023, iss. 1, pp. 161–169. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-161-169

## Summary

**Purpose:** Study of elastic properties of subballast mats at dynamic impact. **Methods:** To calculate the optimal parameters of these inserts, mathematical model was created using the Autodesk Robot software package. To estimate durable behavior of subballast mats in track structure, the research of “Elapor” and Sylomer (Getzner, Austria) mats’ elastic-dynamic properties was pursued, Material samples were selected from experimental section a year past after laying with the purpose to define exploitation conditions effect on investigated geosynthetic materials. Vibration parameter measurements were held with the help of acetometer kit and registering device MIC-026. **Results:** Vibration extinguishing mat “Elapor” shrinks practically right away and further its elasticity dynamic module changes slightly (that’s characteristic for synthetic rubbers) and Sylomer mat behaves more “flexible”. **Practical significance:** Pursued research allows to assess application efficiency for elastic materials of slipper base as a mean of struggle with negative phenomenon (noise, vibration), appearing at tram carriage motion.

**Keywords:** Noise, tram, vibrations, natural environment, urban area, electric transport, carriage structure vibrations, rail vibration isolation.

## References

1. Yushkov V. S., Kychkin V. I. Diagnostika rel’sovogo puti elektrotransporta [Diagnostics of the rail track of electric transport]. *Vestnik MGSU* [Vestnik MGSU]. 2015, Iss. 1, pp. 36–43. (In Russian)
2. Sergeev A. A., Misyurov M. N., Kychkin V. I. *Vibroakusticheskaya diagnostika tekhnicheskogo so-stoyaniya uchastkov tramvaynykh putey v tselyakh snizheniya neblago-priyatnykh faktorov dvizheniya. Ekologiya i nauchno-tekhnicheskiy progress. Urbanistika: materialy KhII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (s mezh-dunarodnym uchastiem) (g. Perm’, 21 noyabrya 2014 g.)* [Vibroacoustic diagnostics of the technical condition of tramway sections in order to reduce unfavorable traffic factors. Ecology and Scientific and Technical Progress. Urban studies: materials of the XII All-Russian scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists (with international participation) (Perm, November 21, 2014)]. pp. 351–360. (In Russian)
3. Kychkin V. I., Yushkov V. S. *Otsenka sostoyaniya rel’sovogo puti gorodskogo elektrotransporta megapolisa* [Evaluation of the state of the rail path of the urban electric transport of the metrop-

olis]. Perm': Permskiy natsional'nyy issledovatel'skiy politekhni-cheskiy universitet Publ., pp. 58–65. (In Russian)

4. Lakusik S. Vliyanie tramvaynogo dvizheniya na shum i vibratsiyu [Influence of tram traffic on noise and vibration]. *Tekhnicheskaya akustika* [Technical Acoustics]. 2006, Iss. 13. Available at: <http://ejta.org>. (In Russian)

5. Kustenکو A. A. Issledovanie vliyaniya shuma i vibratsii v tramvaynom dvizhenii [Study of the influence of noise and vibration in the tram movement]. *Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of the Kurgan State University. Series: Engineering sciences]. 2017, Iss. 2(45), pp. 97–99. (In Russian)

6. Dudkin E. P., Chernyaeva V. A. Problemy okhrany truda i geoekologicheskoy opasnosti gorodskogo transporta [Problems of labor protection and geoeological hazards of urban transport]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti* [Technologies of technosphere safety]. 2014, Iss. 1(53). Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb>. (In Russian)

7. Panin Yu. A., Berezin V. V., Disvetov M. L. *Shumopogloshchayushchee koleso dlya zheleznodorozhnogo transporta* [Noise-absorbing wheel for railway transport]. Patent RF, no. 168144, 2017. (In Russian)

8. Pronin C. M., Piteev N. I. *Ustroystvo dlya umen'sheniya shuma i/ili vibratsiy na rel'sovom transporte* [A device for reducing noise and/or vibrations on rail transport]. Patent RF, no. 130319, 2013. (In Russian)

9. Kraskevich S., Lipko S., Pludovska M. et al. *Sticheskie i dinamicheskie kharakteristiki uprugih mtov dlya vibrozolyatsii zheleznodorozhnykh putey* [Static and dynamic characteristics of elastic bands for vibration isolation of railway tracks]. *Procedia Engineering*. 2016, Iss. 153, pp. 317–324. (In Russian)

Received: January 11, 2023

Accepted: February 25, 2023

#### **Author's information:**

Andrei V. PETRIAЕV — PhD in Engineering, Research Scientist; [pgups60@mail.ru](mailto:pgups60@mail.ru)

Abdunaim A. SAIDALIEV — 1st year Postgraduate Student; [saidaliev18@mail.ru](mailto:saidaliev18@mail.ru)