

УДК: 629.5.015.5  
OECD: 01.03. AA

## Экспериментальные исследования эффективности резонансных пластинчатых (полосовых) вибропоглопителей

Кирпичников В.Ю.<sup>1</sup>, Петров А.А.<sup>2</sup>, Олейников А.Ю.<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Д.т.н., главный научный сотрудник

<sup>2</sup> К.ф.-м.н., научный сотрудник

<sup>3</sup> К.т.н., доцент, БГТУ "ВОЕНМЕХ", им. Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ  
<sup>1,2</sup> ФГУП «Крыловский государственный научный центр», г. Санкт-Петербург, РФ

### Аннотация

Описана конструкция испытанных резонансных пластинчатых (полосовых) вибропоглопителей с диссипативным слоем на основе полимерной пленки с большим вибропоглощением. Приведены результаты экспериментальных исследований их эффективности при различных вариантах соединения и нахождения на металлических пластинах с малыми и большими потерями колебательной энергии. Проведено сравнение пластинок РПВ (резонирующие пластинчатые вибропоглопители). Пластина первого типа приклеивалась к демпфируемой пластине посредством полимерной пленки из поливинилацетата, а пластинка РПВ второго типа, задемпфированная АВП (армированным вибропоглощающим покрытием) на основе той же пленки, закреплялась с зазором к пластине с помощью болтового соединения. Установлено, что при механическом соединении с зазором вибропоглопители имеют существенно лучшую эффективность, чем вибропоглопители, контактирующие с пластиной через полимерную пленку, и армированное вибропоглощающее покрытие с большей массой. Показано, что для достижения лучшей эффективности вибропоглотитель должен находиться в зоне пучности формы изгибных колебаний пластины с резонансной частотой, на которую он настроен.

**Ключевые слова:** пластина, вибрация, резонансные вибропоглопители, способы и места установки, эффективность.

### *Investigations of the effectiveness of resonant plate (band) vibration dampers*

*Kirpichnikov V.Yu.<sup>1</sup>, Petrov A.A.<sup>2</sup>, Oleinikov A.Yu.<sup>3\*</sup>*

<sup>1</sup> *DSc, Principal Researcher*

<sup>2</sup> *PhD, Researcher*

<sup>3</sup> *PhD, Baltic State Technical University 'VOENMEH' named after D.F. Ustinova, St. Petersburg, Russia*  
<sup>1,2</sup> *Federal State Unitary Enterprise 'State Scientific Center Krylovsky', St. Petersburg, Russia*

### **Abstract**

*The design of the tested resonant plate (strip) vibration absorbers with a dissipative layer based on a polymer tape with high vibration absorption is described. The results of experimental studies of their effectiveness in various connection options and being on metal plates with small and large losses of vibrational energy are presented. A comparison of RPV plates (resonating plate vibration absorbers) was carried out. The plate of the first type was glued to the damped plate by means of a polymer film made of polyvinyl acetate, and the RPV plate of the second type, damped by RVC (reinforced vibration absorbing coating) based on the same film, was fixed with a gap to the plate using a bolted connection. It has been found that when mechanically*

---

\*E-mail: oleinikov\_aidu@voenmeh.ru (Олейников А.Ю.)

*connected with a gap, vibration absorbers have significantly better efficiency than vibration absorbers in contact with the plate through a polymer tape and a reinforced vibration absorbing coating with a larger mass. It is shown that in order to achieve the better efficiency, the vibration absorber must be located in the antinode zone of the shape of the bending vibrations of the plate with the resonant frequency to which it is tuned.*

**Keywords:** *plate, vibration, resonant vibration absorbers, installation methods and locations, efficiency.*

## Введение

Одним из основных направлений улучшения акустических характеристик транспортных средств и оборудования является уменьшение уровней вибрации их корпусных и внутрикорпусных конструкций. Особенно актуальным это направление является, когда в спектрах вибрации и (или) шумоизлучения конструкций обнаруживаются интенсивные низкочастотные максимумы резонансного происхождения и отсутствует возможность уменьшения их уровней путем улучшения виброшумовых характеристик источника вибрации и (или) повышения эффективности средств его виброизоляции.

Снижение уровней низкочастотных максимумов вибрации (шумоизлучения) может быть достигнуто при установке на конструкции грузов, виброгасителей (грузов с упругим элементом) и при облицовке конструкций армированными вибропоглощающими покрытиями [1–3, 10–14].

### 1. Методы снижения уровней низкочастотных максимумов вибрации

Одним из основных недостатков существующих средств снижения вибрации является их большая масса. Например, нашедшие широкое применение армированные вибропоглощающие покрытия (АВП) с диссипативным слоем, изготавливаемым обычно из резины, имеют малую эффективность на низких резонансных частотах при относительной массе  $\mu$ , достигающей 40–50 % от массы демпфируемой конструкции [3, 4].

Существенно меньшую массу при лучшей эффективности на этих частотах имеют АВП с диссипативным слоем в виде полимерной пленки из материала с большими потерями колебательной энергии [5]. При облицовке ими конструкций достигаются на низких частотах потери с коэффициентом около 0.1.

Альтернативными, менее габаритными чем АВП, средствами низкочастотного виброгашения (вибродемпфирования) конструкций являются резонирующие (далее резонансные) пластинчатые или полосовые вибропоглощители (РПВ). Они представляют собой пластинку (полоску) с вибропоглощающим материалом или АВП на ее поверхности.

Результаты экспериментальных исследований эффективности вибродемпфирования низкочастотных изгибных колебаний конструкций с использованием резонансных пластинчатых вибропоглощителей содержатся в работах [6, 7]. Испытывались два типа РПВ (рис. 1).

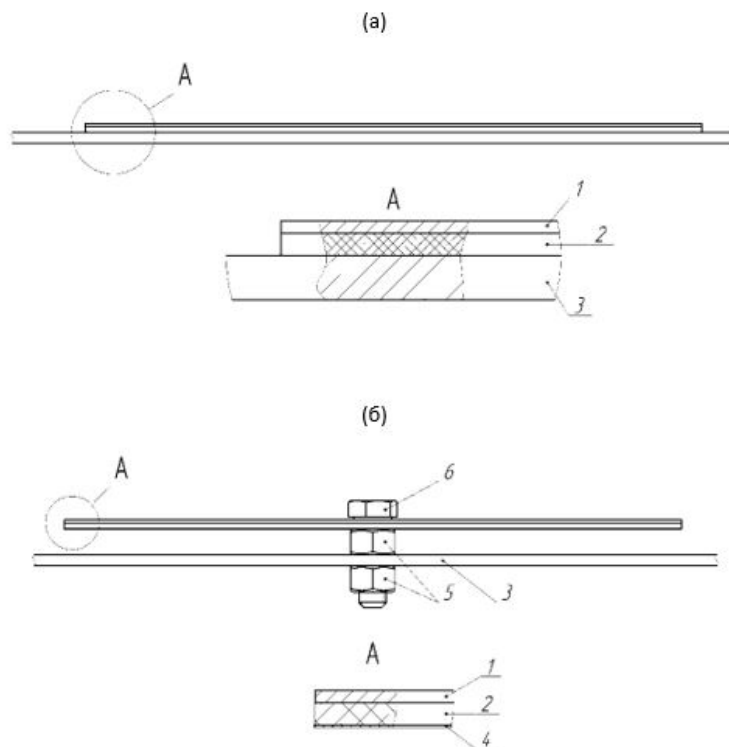


Рис. 1. Схемы РПВ первого (а) и второго (б) типов: 1 – пластинка; 2 – диссипативный слой; 3 – демпфируемая пластина; 4 – армирующий слой; 5 – гайка; 6 – болт.

Пластинка РПВ первого типа приклеивалась к демпфируемой пластине посредством полимерной пленки из поливинилацетата, а пластинка РПВ второго типа, задемпфированная АВП на основе той же пленки, закреплялась с зазором к пластине с помощью болтового соединения. При относительной массе РПВ не более 4 % массы демпфируемой пластины максимальная эффективность на низшей резонансной частоте изгибных колебаний пластины составила 29 дБ. Она была зарегистрирована при болтовом соединении РПВ с пластиной, находящимся в геометрическом центре – пучности формы ее колебаний на соответствующей резонансной частоте.

Пластинки всех испытанных РПВ имели достаточно большое и примерно одинаковое ( $\sim 0.71$ ) отношение их ширины  $b$  к длине  $l$ . При практическом решении задачи уменьшения уровней вибрации конструкций установить на них РПВ в виде пластинок с указанным или большим отношением  $b/l$  не всегда оказывается возможным.

В этих случаях можно использовать резонансные полосовые вибропоглотители, имеющие отношение  $b/l \leq 0.4$ , а, следовательно, и меньшую, чем пластинчатые РПВ, площадь. Согласно расчету, колебания полосовых вибропоглотителей на их низшей резонансной частоте имеют изгибную форму – оптимальную, как показано в работах [6, 7], для достижения большей эффективности РПВ.

## 2. Экспериментальные исследования резонансных пластинчатых (полосовых) вибропоглотителей

Приведем результаты экспериментальных исследований уменьшения, с помощью резонансных полосовых вибропоглотителей, уровней низкочастотной вибрации пластины – модели участка плоских инженерных конструкций, расположенного между их соседними подкрепляющими элементами. Размеры пластины в плане составляли  $0.52 \times 0.38$  м, толщина –  $1.5 \cdot 10^{-3}$  м.

Испытанные РПВ в виде полоски, приклеенной к пластине с помощью ранее указанной полимерной пленки, имели длину 0.15 и 0.19 м. Расчетные значения низшей резонансной частоты  $f_1$  изгибных колебаний полосок, имеющих толщину  $0.56 \cdot 10^{-3}$  м, совпадали с измеренными значениями второй ( $f_{21} = 129$  Гц) и первой ( $f_{11} = 80$  Гц) резонансных частот изгибных колебаний демпфируемой пластины.

Была определена эффективность трех РПВ длиной 0.15 м, имеющих ширину 0.02 м ( $\mu = 0.6$  %), 0.04 м ( $\mu = 1.2$  %) и 0.06 м ( $\mu = 1.8$  %), и одного РПВ длиной 0.19 м ( $\mu = 2.3$  %). Под эффективностью понимается превышение уровней входной вибровозбудимости  $A/F$ , дБ, пластины при отсутствии РПВ над соответствующими уровнями при его наличии, где  $A/F = 20 \lg(AF_0/F_{a0})$ ;  $A$  – уровень виброускорения,  $\text{м/с}^2$ , пластины в точке возбуждения вибропоглопитель с силой  $F$ ,  $H$ ;  $F_0 = 1$  Н;  $a_0$  – пороговый уровень виброускорения, равный  $10^{-6} \text{ м/с}^2$ .

Наибольшая эффективность всех РПВ длиной 0.15 м была зарегистрирована при их последовательном симметричном расположении относительно пучности формы изгибных колебаний пластины с двумя полуволнами вдоль длинных и с одной полуволной вдоль коротких кромок пластины. Значения  $\Theta$  (эффективность), дБ, на частоте  $f_{21}$  при наличии на ней РПВ шириной 0.02, 0.04 и 0.06 м при измерении входной вибровозбудимости пластины в пучности формы ее колебаний оказались равными 9, 15 и 20 дБ соответственно. Коэффициент потерь  $\eta$  возрос примерно в 3, 5 и 10 раз.

Уменьшение уровней  $A/F$ , дБ, особенно при установке на пластину РПВ шириной 0.06 м, наблюдалось и на более высоких резонансных частотах. На низшей резонансной частоте (80 Гц) колебаний пластины эффективность РПВ длиной 0.15 м с его резонансной частотой  $f_1 > 1.5f_{11}$  оказалась равной 4 дБ.

Примерно такие же значения эффективности были зарегистрированы при испытаниях РПВ с размерами в плане  $0.19 \times 0.06$  м, частотно настроенного на низшую резонансную частоту изгибных колебаний пластины. При нахождении РПВ в зоне геометрического центра (ГЦ) пластины уровни ее входной вибровозбудимости в ГЦ уменьшились на 21 дБ, а в пучности формы 2-1 изгибных колебаний – на 5 дБ.

Эффективность РПВ в виде полоски, облицованной АВП на основе указанной полимерной пленки и кровельного железа толщиной  $0.18 \cdot 10^{-3}$  м, оказалась существенно большей.

На рис. 2 приведены спектры входной вибровозбудимости, измеренной в пучности формы колебаний 2-1 при отсутствии и наличии, с болтовым креплением в этой пучности, РПВ с размерами в плане  $0.15 \times 0.06$  м. Уменьшение уровней входной вибровозбудимости на резонансной частоте  $f_{21} = 129$  Гц пластины, близкой к расчетному значению низшей резонансной частоты  $f_1$  изгибных колебаний РПВ, составило 37 дБ.

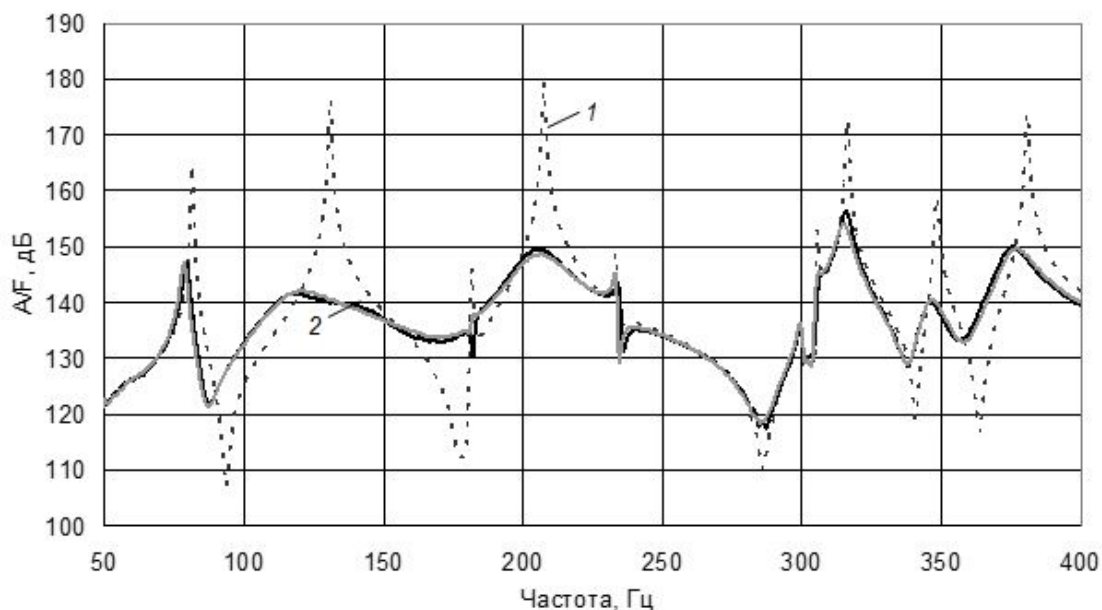


Рис. 2. Спектры входной вибровозбудимости демпфируемой пластины при отсутствии (1) и установке (2) РПВ на основе полосы с размерами в плане  $0.15 \times 0.06$  м (точечное соединение)

Был получен коэффициент потерь равный 0.24, это оказалось больше его значения в отсутствие РПВ почти в **100 раз**. На других резонансных частотах изгибных колебаний пластины была получена эффективность РПВ равная 17–29 дБ.

Значительно большая эффективность РПВ при болтовом соединении с пластиной по сравнению со случаем контакта с ней резонирующей полоски через полимерную пленку обусловлена лучшими условиями для реализации в полоске интенсивных резонансных колебаний и их виброгашения армированным покрытием.

Описанные выше и в работах [6, 7] экспериментальные исследования эффективности пластинчатых и полосовых резонирующих вибропоглотителей были проведены при их установке на пластину с малыми потерями ( $\eta \approx 2 \cdot 10^{-3}$ ) колебательной энергии. Потери в пластинах конструкций транспортных средств, как правило, существенно больше. Во многих случаях, особенно при наличии различного рода средств вибродемпфирования, значения коэффициента потерь находятся в пределах 0.05–0.1.

Вместе с тем, при возбуждении таких конструкций, вызывающем появление в спектрах их вибрации и шумоизлучения широкополосных резонансных максимумов, часто возникает необходимость более значительного уменьшения их уровней. Задача дальнейшего повышения потерь колебательной энергии в пластинах может быть решена установкой на них резонансных полосовых вибропоглотителей.

Испытания эффективности РПВ были выполнены с использованием пластины с прежними размерами, облицованной АВП, содержащим слой полимерной пленки из поливинилацетата толщиной  $0.5 \cdot 10^{-3}$  м и стальной лист такой же толщины [8].

Для уменьшения уровней низшего резонансного максимума колебаний пластины ( $\eta = 0.124$ ) в зоне ее ГЦ были установлены три РПВ (рис. 3) с размерами  $0.16 \times 0.057 \times 0.56 \cdot 10^{-3}$  м, настраиваемых на частоту  $f_{11}$  с использованием двух грузов цилиндрической формы массой 0.048 кг. Диссипативным слоем РПВ являлась та же полимерная пленка ранее указанной толщины, а армирующим – стальная полоска толщиной  $0.18 \cdot 10^{-3}$  м. Общая масса РПВ с грузами, болтами и гайками составляла 14 % массы пластины и была примерно в 2 раза меньше массы АВП на пластине. Уровень наибольшего расщепленного резонансного максимума вибрации пластины оказался меньше уровня гасимого максимума на 13 дБ (рис. 4), а коэффициент потерь составил 0.45.



Рис. 3. Фото рамы и облицованной покрытием пластины с тремя резонирующими полосовыми вибропоглотителями

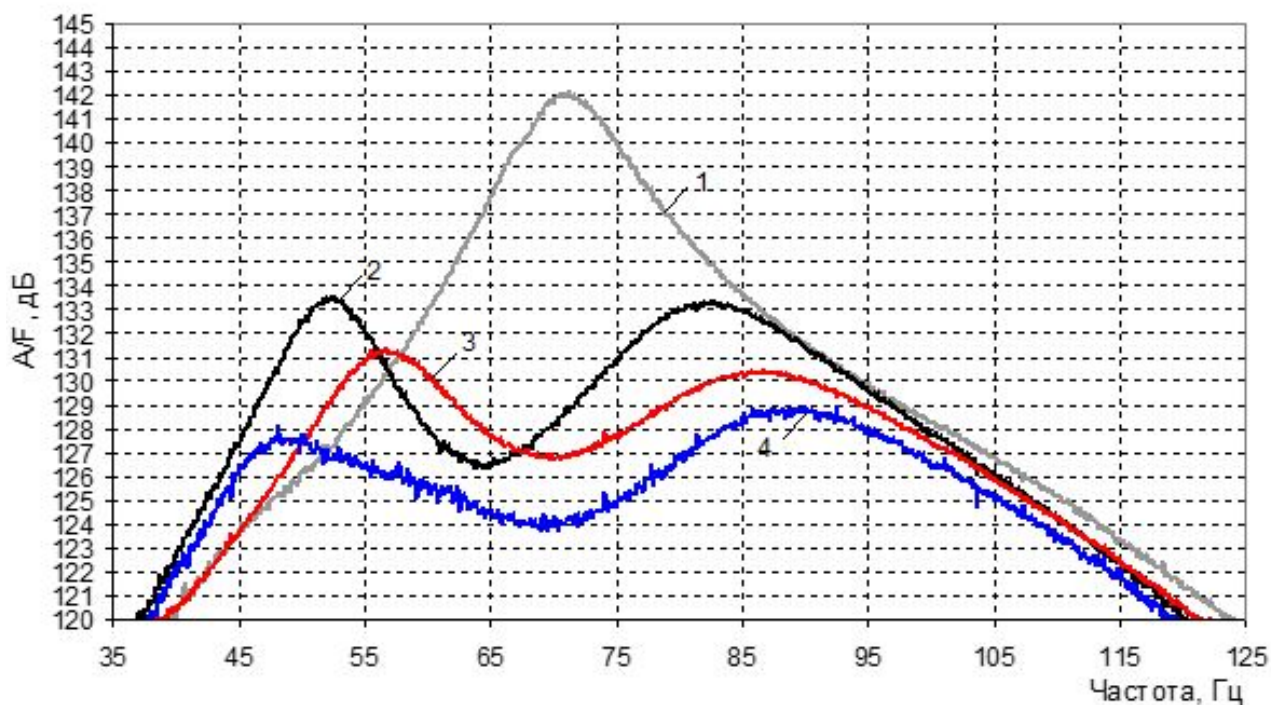


Рис. 4. Спектры входной вибровозбудимости облицованной армированным вибропоглощающим покрытием пластины при отсутствии (кривая 1) и наличии одного (кривая 2), двух (кривая 3) и трех (кривая 4) резонирующих полосовых вибропоглотителей

### Заклучение

Высокая эффективность резонансных полосовых вибропоглотителей, имеющих малую массу, была зарегистрирована и при проведении исследований по уменьшению уровней низкочастотной вибрации и шумоизлучения обтекаемой пластины [7] и трубчатой конструкции [9].

Полученные результаты могут быть использованы при выполнении работ по снижению уровней низкочастотной вибрации и шумоизлучения корпусных и внутрикорпусных конструкций транспортных средств и оборудования различного функционального назначения.

### Список литературы

1. Алексеев А.М., Сборовский А.К. Судовые виброгасители. Л. 1962.
2. Лебедев А.В. // Акуст. журн. 1989. Т. 35. № 4. С. 689.
3. Никифоров А.С. Акустическое проектирование судовых конструкций. Справочник. Л.: Судостроение, 1990. 198 с.
4. Ионов А.В. Средства снижения вибрации и шума на судах. СПб. 2000. 348 с.
5. Кирпичников В.Ю. Вред и польза резонансных явлений в элементах судовых конструкций. СПб. 2019. 174 с.
6. Кирпичников В.Ю., Сятковский А.И., Шлемов Ю.Ф. Высокоэффективные средства низкочастотного вибродемпфирования с упругим элементом из полимерной пленки // Судостроение. 2020. Вып. № 1. С. 44–47.
7. Кирпичников В.Ю., Петров А.А. Низкочастотные пластинчатые (полосовые) вибропоглощители и результаты исследований их эффективности. Труды конференции РАО. 2022.
8. Кирпичников В.Ю., Кощев А.П., Петров А.А., Савенко В.В. О низкочастотном вибродемпфировании пластины с большими потерями колебательной энергии // Труды Крыловского ГИЦ. 2021. Вып. № 1(395). С. 149–153.
9. Кирпичников В.Ю., Петров А.А., Смольников В.Ю., Шлемов Ю.Ф., Яковлева Е.В. Экспериментальные исследования эффективности резонирующих полосовых вибропоглощителей при установке на трубчатую конструкцию // Труды Крыловского ГИЦ. 2018. Вып. № 1(383). С. 107–112.
10. WEI, Wei & Zhu, Shengyang & Zhai, Wanming & Zhang, Qinglai. (2021). Low frequency vibration reduction method for floating slab tracks based on tuned viscous mass damper. SCIENTIA SINICA Technologica. 51. 10.1360/SST-2020-0495.
11. Jiang, Peibin & Ling, Liang & Ding, Xin & Chi, Shengchao & Zhang, Tao & Wang, Kaiyun & Zhai, Wanming. (2021). Resonance of railway vehicles induced by floating-slab tracks: mechanism and countermeasures. Vehicle System Dynamics. 1-20. 10.1080/00423114.2021.1995610.
12. Corlett, E.N.. (1977). Infrasound and low frequency vibration. Applied Ergonomics - APPL ERGON. 8. 117-117. 10.1016/0003-6870(77)90105-3.
13. Zerbi, Giuseppe. (1970). Low Frequency Vibrations of Polymers. 10.1007/978-1-4684-1863-7\_16.
14. Reust, D.. (2021). Low frequency vibrator transformation. 1-5. 10.3997/2214-4609.202113123.

### References

1. Alekseev A.M., Sborovsky A.K. Ship vibration dampers. L. 1962.
2. Lebedev A.V. // Acoustic. journal. 1989. Vol. 35. No. 4. p. 689.
3. Nikiforov A.S. Acoustic design of ship structures. Handbook. L.: Shipbuilding, 1990. 198 p
4. Ionov A.V. Means of reducing vibration and noise on ships. SPb. 2000. 348 p.
5. Kirpichnikov V.Yu. Harm and benefit of resonant phenomena in elements of ship structures. SPb. 2019. 174 p.
6. Kirpichnikov V.Yu., Syatkovsky A.I., Shlemov Yu.F. Highly effective means of low-frequency vibration damping with an elastic element made of polymer plate // Shipbuilding. 2020. Issue No. 1. pp. 44-47.



7. Kirpichnikov V.Yu., Petrov A.A. Low-frequency plate (band) vibration absorbers and the results of studies of their effectiveness. Proceedings of the conference RAO. 2022.
8. Kirpichnikov V.Yu., Kosheev A.P., Petrov A.A., Savenko V.V. On low-frequency vibration damping of a plate with large losses of vibrational energy // Proceedings of Krylovsky Scientific Research Center. 2021. Issue No. 1(395). pp. 149-153.
9. Kirpichnikov V.Yu., Petrov A.A., Smolnikov V.Yu., Shlemov Yu.F., Yakovleva E.V. Experimental studies of the effectiveness of resonating strip vibration absorbers when installed on a tubular structure // Proceedings of the Krylovsky Scientific Research Center. 2018. Issue No. 1(383). pp. 107-112.
10. WEI, Wei & Zhu, Shengyang & Zhai, Wanming & Zhang, Qinglai. (2021). Low frequency vibration reduction method for floating slab tracks based on tuned viscous mass damper. SCIENTIA SINICA Technologica. 51. 10.1360/SST-2020-0495.
11. Jiang, Peibin & Ling, Liang & Ding, Xin & Chi, Shengchao & Zhang, Tao & Wang, Kaiyun & Zhai, Wanming. (2021). Resonance of railway vehicles induced by floating-slab tracks: mechanism and countermeasures. Vehicle System Dynamics. 1-20. 10.1080/00423114.2021.1995610.
12. Corlett, E.N.. (1977). Infrasound and low frequency vibration. Applied Ergonomics - APPL ERGON. 8. 117-117. 10.1016/0003-6870(77)90105-3.
13. Zerbi, Giuseppe. (1970). Low Frequency Vibrations of Polymers. 10.1007/978-1-4684-1863-7\_16.
14. Reust, D.. (2021). Low frequency vibrator transformation. 1-5. 10.3997/2214-4609.202113123.