

Научная статья  
 DOI: 10.15593/24111678/2023.04.04  
 УДК 624.21/.8

**А.В. Паторняк, И.В. Чаплин, С.В. Ефимов**

Сибирский государственный университет путей сообщения,  
 Новосибирск, Российская Федерация

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПОДБАЛЛАСТНЫХ ВИБРОМАТОВ НА МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЯХ**

Рассматривается применение подбалластных виброматов на транспортных сооружениях для обеспечения долговечности и надежности. Описываются основные характеристики и материалы, из которых изготавливаются виброматы и их виды. Приведены основные результаты исследований зарубежных работ по реализации данной технологии. Показана эффективность подбалластных виброматов в уменьшении шума и вибрации, а также их влияние на измерения модуля упругости подрельсового основания. Анализ результатов различных опытов позволил установить преимущества использования виброматов, такие как снижение шума на 10–15 дБ, материал подбалластных виброматов характеризуется высокой долговечностью и относительно малыми деформациями. Применение подбалластных виброматов позволяет повысить комфорт жизни в плотной городской застройке за счет снижения шума, а также повышает надежность мостовых сооружений. Статья также затрагивает такую серьезную проблему, как прогрессирующее трещинообразование, которое приводит к снижению долговечности конструкции. Установлено, что наиболее распространенными трещинами на металлических пролетных строениях являются трещины типа Т9 и Т10, которые образуются в местах прикрепления вертикальных ребер жесткости к стенке балки. Исследования показывают, что на возникновение трещин влияют неплотное опирание мостового полотна на пояс балки, воздействие подвижной нагрузки, наличие зазоров между вертикальными ребрами жесткости и верхним поясом балки. В статье представлены результаты численного эксперимента, проведенного в СибНИИ мостов, которые показали, что применение виброматов на металлических пролетных строениях способствует уменьшению вертикальных напряжений, снижая вероятность возникновения усталостных трещин типа Т9.

**Ключевые слова:** подбалластные виброматы, пролетные строения, езда на балласте, верхнее строение пути, шум, вибрации, модуль упругости, долговечность.

**A.V. Patornyak, I.V. Chaplin, S.V. Efimov**

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russian Federation

## **APPLICATION OF SUB-BALLAST VIBROMATES ON BRIDGE STRUCTURES**

This article discusses the use of subballast vibromats on transport structures to provide durability and reliability. It describes the main characteristics and materials which vibromats are made and their types. The article presents the main results of research of foreign experiments on the implementation of this technology. It shows the effectiveness of subballast vibrating mats in reducing noise and vibration, as well as their influence on the measurements of the elastic modulus of the under-rail base. An analysis of the results of various experiments made it possible to establish the advantages of using vibromats such as: noise reduction by 10–15 dB, the material of subballast vibromats is characterized by high durability and relatively small deformations. The use of subballast vibromats makes it possible to increase the comfort of life in dense urban areas by reducing noise, and also increases the reliability of bridge structures. The article also touches on such a serious problem as progressive cracking, which leads to reduced durability of the structure. It has been established that the most common cracks in metal spans are cracks of the T-9 and T10 types, which form at the points of attachment of vertical stiffeners to the beam wall. Research shows that the occurrence of cracks is influenced by loose support of the bridge deck on the beam flange, the impact of moving loads, and the presence of gaps between the vertical stiffeners and the upper flange of the beam. The article presents the results of numerical experiment carried out at the Siberian Research Institute of Bridges, which showed that the application of vibromats on metal superstructures helps to reduce the vertical stresses, reducing the probability of T9 type fatigue cracks.

**Keywords:** subballast vibromats, superstructures, track on ballast, permanent way, noise, vibration, elastic modulus, durability.

## Введение

Мостовые сооружения на железной дороге являются неотъемлемой частью транспортной инфраструктуры, обеспечивающей возможность перемещения грузов и пассажиров в пределах обширной географии страны. Однако в процессе эксплуатации эти конструкции подвергаются естественному износу и повреждениям, которые могут привести к аварийным ситуациям. Актуальной задачей является разработка новых технологий для обеспечения долговечности и надежности существующих конструкций.

Одной из таких технологий является применение подбалластных виброматов в верхнем строении пути на железнодорожных искусственных сооружениях и насыпях. Подбалластные виброматы представляют собой эластичные прокладки, устанавливаемые под балластным слоем или бетонной плитой, в зависимости от типа конструкции верхнего строения пути. Виброматы обычно изготавливают из натурального каучука (натуральные эластомеры, обладающие эластичностью, водонепроницаемостью и электроизоляционными свойствами), переработанной резины или пенополиуретана (сверхлегкий пластический, пористый материал с закрытой структурой ячеек).

Виброматы способны снизить вибрацию и структурный шум, вызванные движением транспорта и другими факторами. Также они предназначены для уменьшения и оптимизации статического и динамического модулей упругости верхнего строения пути в целях снижения динамической нагрузки, передаваемой на элементы моста или железнодорожной насыпи. Дополнительно, согласно ГОСТ Р 70258-2022 «Маты подбалластные для виброизоляции конструкции верхнего строения пути. Методы испытаний», подбалластные виброматы применяют и для устройства участков переменной жесткости между различными конструкциями верхнего строения пути, например, на подходах к мостам [1].

Цель исследования – выявление достоинств применения виброматов в пределах мостовых сооружений.

Задачами данной статьи являются изучение зарубежных исследований, анализ эффективности подбалластных виброматов на транспортных сооружениях, проведение численного эксперимента по взаимодействию подбалластного вибрмата с пролетным строением.

Объект исследования: подбалластные виброматы.

### 1. Область применения и виды виброматов

Подбалластные виброматы применяются в таких областях, как [2]:

- изоляция структурного шума в рельсовых системах в условиях плотной городской застройки, особенно в непосредственной близости от зданий;
- снижение уровня шума и вибрации в зданиях с особо высокими требованиями к шумоизоляции (например, театры, концертные залы, испытательные лаборатории);
- защита от низкочастотных вибраций, вызванных ограничивающими пространство поверхностями (вторичный воздушный шум).

На рис. 1 представлены примеры применения виброматов. За рубежом применяют несколько видов подбалластных виброматов, основные из которых приведены в табл. 1.

Подбалластные виброматы за рубежом нашли свое применение уже с 1990-х гг. Несколько популярных типов виброматов, применяемых в зарубежных странах [2–7]:

- DAMTEC, Германия (комбинированный подбалластный вибромат; настил в виде полосы; настил в виде точечного опирания; настил по площади);
- CDM Stravitec, Испания (настил вибрмата по площади; комбинированный мат);
- AREMA, США (комбинированный вид).

В России подбалластные маты появились гораздо позже и пока не получили такого широко применения. Однако на сегодняшний день и в России начинают набирать обороты исследования работы подбалластного вибрмата. Отметим основные результаты некоторых отечест-

венных исследований этих материалов, проделанных благодаря ООО «GAVARY RAILWAYS» и ООО «GAVARY ENGINEERING»:

- эффективность виброматов при частоте нагрузки до 80 Гц;
- снижение уровня шума до 8–15 и 20 дБ на путях и на ИССО соответственно;
- эффективная толщина матов 38 мм;
- виброматы не влияют на истираемость щебеночного балластного слоя;
- долговечность виброматов не менее долговечности балласта (8–10 лет) и мало подвержена усталости.

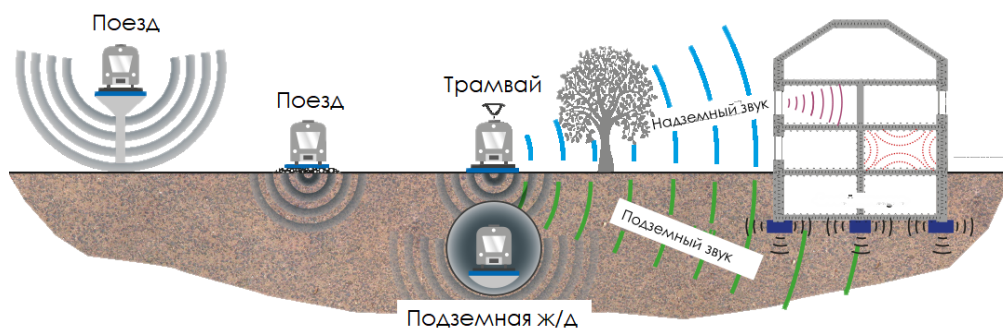
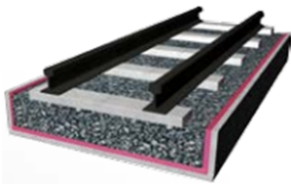
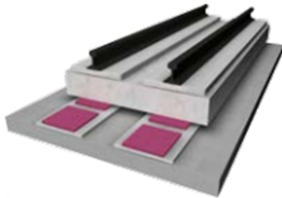
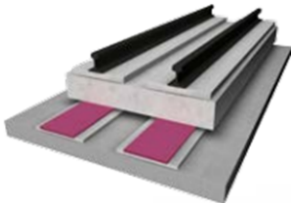
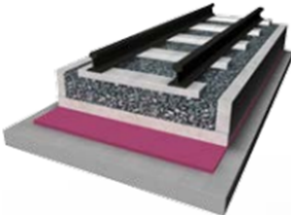


Рис. 1. Применение подбалластных виброматов в различных конструкциях

Таблица 1

Виды подбалластных виброматов

№ п/п	Наименование	Схема
1	Комбинированный вибромат (настил в горизонтальной и вертикальной плоскостях)	
2	Настил виброматов в виде точечного опирания	
3	Настил виброматов в виде полосы	
4	Настил вибромата по площади	

Стоит отметить, что в 2022 г. был выпущен документ на проведение испытаний виброратов – ГОСТ Р 70258-2022. Однако у этого документа есть и недостатки, например, отсутствует информация о конкретных величинах толщин матов, отсутствуют рекомендации о значении оптимальной толщины вибрората при разных условиях эксплуатации, что говорит о необходимости проведения дополнительных исследований в этой области.

## 2. Зарубежный опыт применения подбалластных виброратов

### 2.1. Германия

Немецкая компания KRAIBURG-RELASTEC в 2015 г. провела опыты по устройству подбалластных комбинированных виброратов фирмы DAMTEC [2]. Немецкие специалисты отмечают, что виброратам присущи малые деформации сжатия при действии подвижных нагрузок на них (от 1 до 3 мм, в зависимости от скорости транспортного средства, осевой нагрузки и типа вибрората), что отображено на графике, представленном на рис. 2.

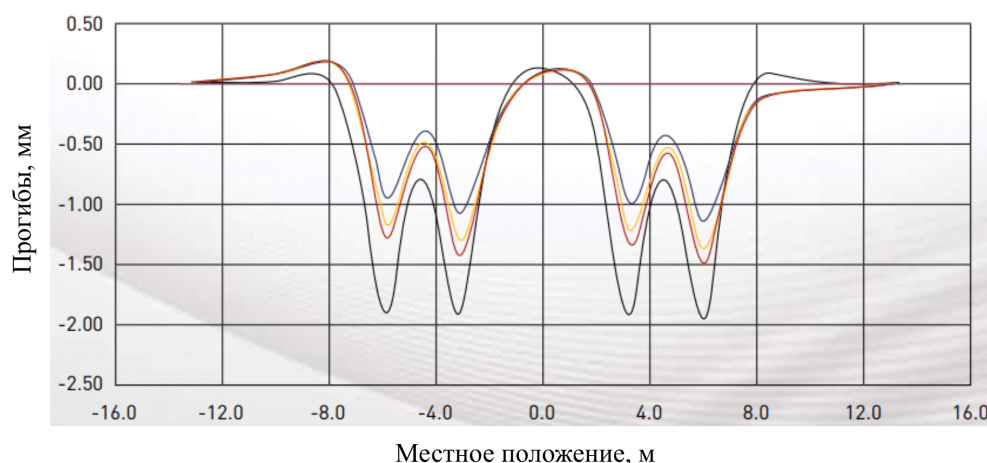


Рис. 2. Расчеты прогиба конструкций пути в совместной работе с виброратами

Помимо малых деформаций, немецкие инженеры также привели результаты исследования, в которых указывается о незначительном влиянии на жесткость подрельсового основания.

### 2.2. Испания

В 1994 г. в Испании была построена железнодорожная станция в Бенфике компанией REFER. Акустические условия внутри станции, вызванные прохождением поездов, были неприемлемыми (80–86 дБ) [3]. Исходя из этого, специалистами по акустике было принято решение установить виброраты по схеме № 4, указанной в табл. 1 (настил вибрората по площади CDM Stravitec, уложенного под путями).

В 1995 г. компания Acústica & Ambiente провела сравнительное измерение вибрации и шума, чтобы оценить эффективность решения. В результате исследования было установлено, что уровень шума снизился на 10–15 дБ при частоте 63 Гц (рис. 3).

Эта же компания CDM в 2001 г., с согласия REFER, собрала образцы подбалластного вибрората с проложенного пути и провела на нем натурные испытания. Полученные данные CDM сравнила с данными 1995 г. (рис. 4).

В ходе исследования было установлено, что спустя 7 лет характеристики материала практически не изменились, что свидетельствует об удовлетворительной долговечности материала и высокой сопротивляемости циклическим нагрузкам.

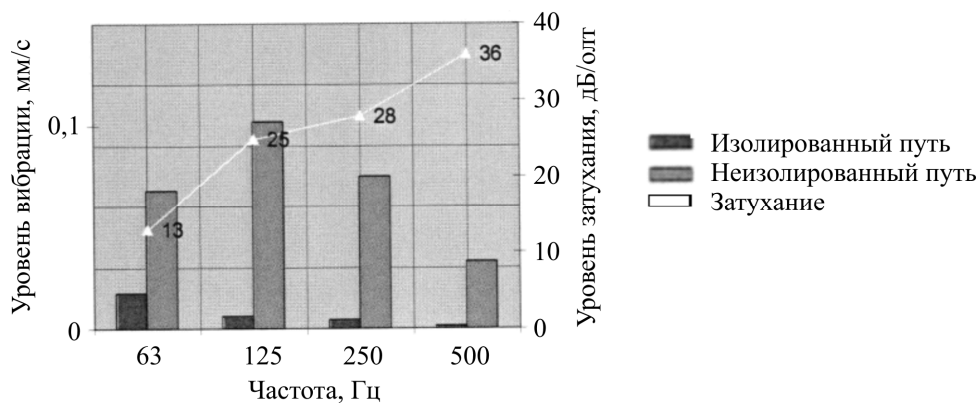


Рис. 3. График снижения уровня шума

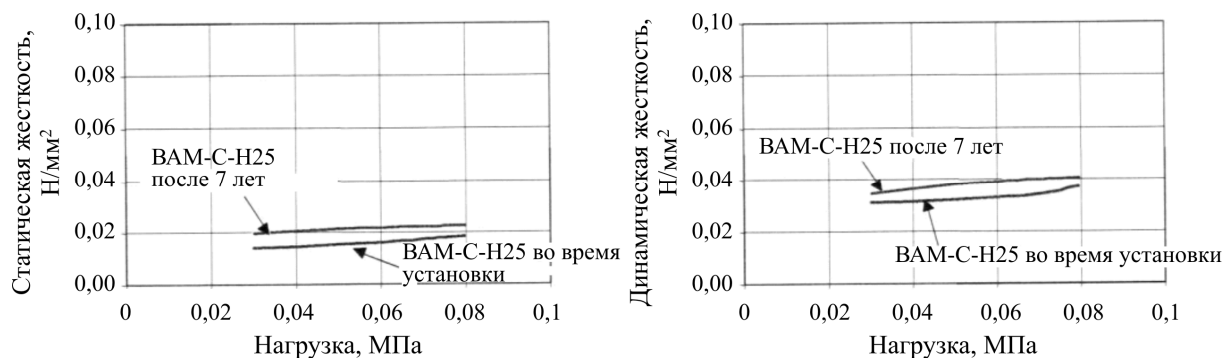


Рис. 4. Сравнение данных 1995 г. с данными 2001 г.

### 2.3. США

В 2017 г. на железнодорожной конференции в Балтиморе инженеры из RAILTEC (университет Иллинойса в Шампейн-Урбане) опубликовали результаты своих исследований. Опыт проводился в научной лаборатории, было использовано три разных типа вибратора на трех разных основаниях (сталь, бетон, щебеночная плита); вибратор от AREMA [4–7]. На рис. 5 приведена конструкция щебеночной плиты.

В результате исследования установлено, что эффективнее всего вибратор работает в комбинации со щебеночной плитой, модуль изгиба, по сравнению со сталью и бетоном, снизился в диапазоне 0,010–0,030 Н/мм<sup>3</sup> [5].

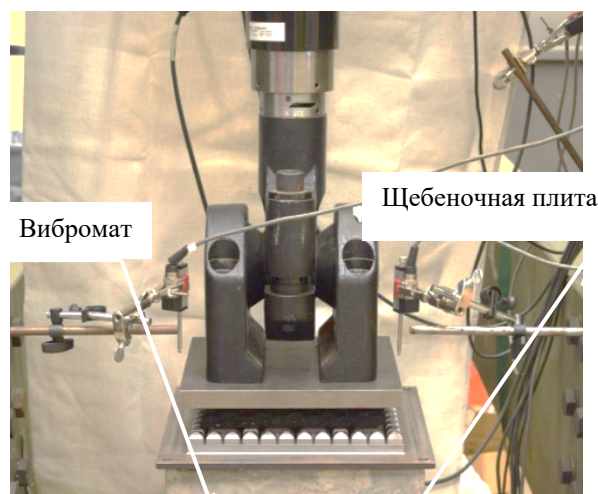


Рис. 5. Конструкция щебеночной плиты

### 3. Собственный опыт применения подбалластных виброматов

Многолетний опыт эксплуатации металлических пролетных строений железнодорожных мостов свидетельствует о возникновении усталостных трещин и повышенном динамическом воздействии из-за относительно малой жесткости таких конструкций [8]. Одним из способов снижения динамического воздействия и уменьшения уровня напряжений от местной нагрузки (воздействия колес подвижного состава) может быть применение подбалластных виброматов, поскольку жесткость конструкции верхнего строения пути будет снижаться.

Для проверки выдвинутой гипотезы был проведен численный эксперимент с укладкой вибромата на продольные балки проезжей части под железобетонные плиты безбалластного мостового полотна в качестве прокладного слоя. Задачами данного опыта было установление уровня влияния виброматов на напряжения, возникающие в стенке продольной балки проезжей части в зоне выкружки вертикального ребра жесткости у границы сварного шва (в местах возникновения трещин типа Т9 и Т10). Данные типы трещин были выбраны неслучайно, поскольку наиболее распространены на железнодорожных металлических пролетных строениях [9]. На рис. 6 и 7 показаны примеры расположения трещин Т9 и Т10.



Рис. 6. Стенка продольной балки с трещиной Т9

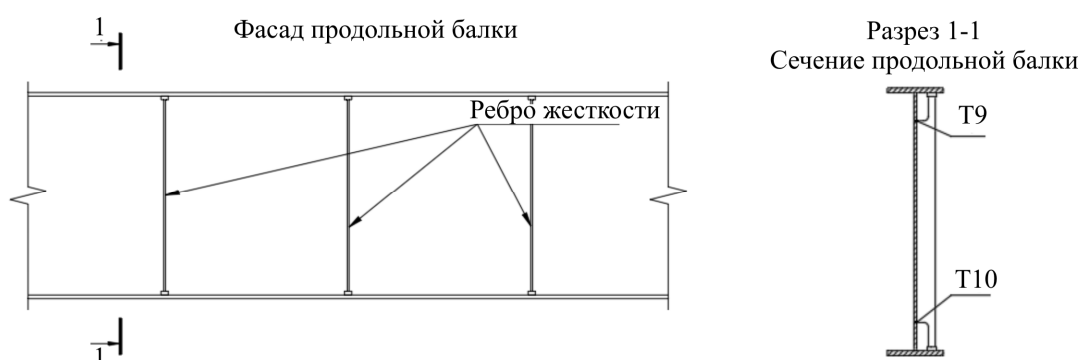


Рис. 7. Схема расположения трещин Т9 и Т10

В расчетном комплексе Midas Civil, реализующем метод конечных элементов, было собрано две модели металлической фермы железнодорожного моста, одна панель которой была смоделирована объемными конечными элементами, так как в проведенном опыте рассматривалось местное воздействие нагрузки [8; 10]. Высота фермы по осям составляет 9,55 м, длина панели – 6 м, шаг ребер жесткости – 1,5 м. Сечения продольной и поперечной балок приведены на рис. 8. В одной из моделей под плитами безбалластного мостового полотна был уложен деревянный прокладной ряд, в другой – виброматы. Толщина вибромата и деревянного прокладного ряда в модели составляла 4 см и соответствовала фактической толщине применяемых ма-



териалов в России. Общий вид модели и анализируемого участка (одна панель между поперечными балками) представлен на рис. 10.

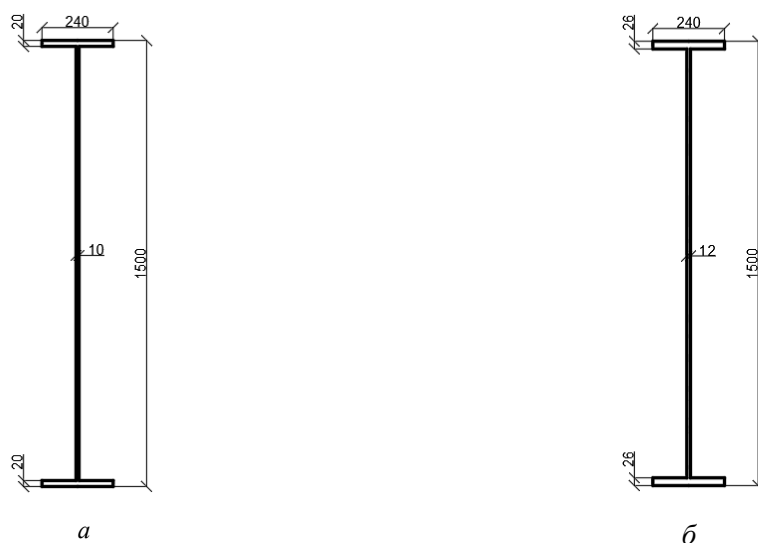


Рис. 8. Сечения продольной (а) и поперечной балок (б)

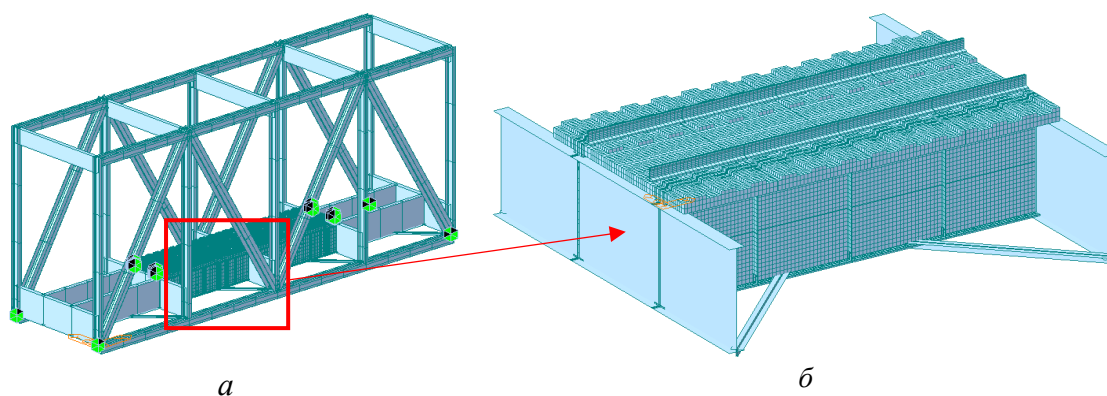


Рис. 9. Вид расчетной модели пролетного строения: а – общий вид модели; б – фрагмент модели (одна панель между поперечными балками)

Для нагружения модели была применена максимальная величина осевой перспективной нагрузки С14, равная 35 т/ось. Поскольку анализировались местные напряжения в стенке продольной балки, то к модели была приложена местная нагрузка от двух сближенных осей по 35 т каждая. На рис. 10 представлена расстановка приложенной к модели нагрузки. Примеры распределения напряжений в стенке продольной балки показаны на рис. 11, а все результаты сведены в табл. 2.

Из полученных значений (см. табл. 2) можно сделать вывод, что укладка вибрматов под железобетонные плиты без балластного мостового полотна способствует уменьшению вертикальных напряжений  $\sigma_z$ , являющихся основными в возникновении и развитии трещин Т9. Также следует отметить  $\sigma_{eff}$ , так называемые напряжения по Мизесу, с помощью которых можно определить возможные точки разрушения и заранее предусмотреть меры по усилению конструкции. Из табл. 2 следует, что с использованием вибрматов напряжения  $\sigma_{eff}$  также уменьшаются в зоне появления трещин Т9, а в зоне появления трещин Т10, наоборот, возрастают.

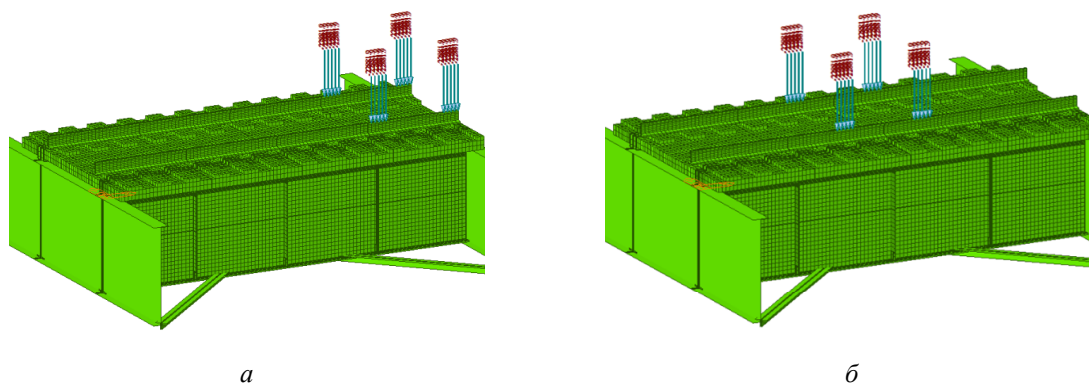


Рис. 10. Расстановка местной нагрузки от двух сближенных осей:  
*a* – нагрузка над поперечной балкой; *б* – нагрузка в середине панели

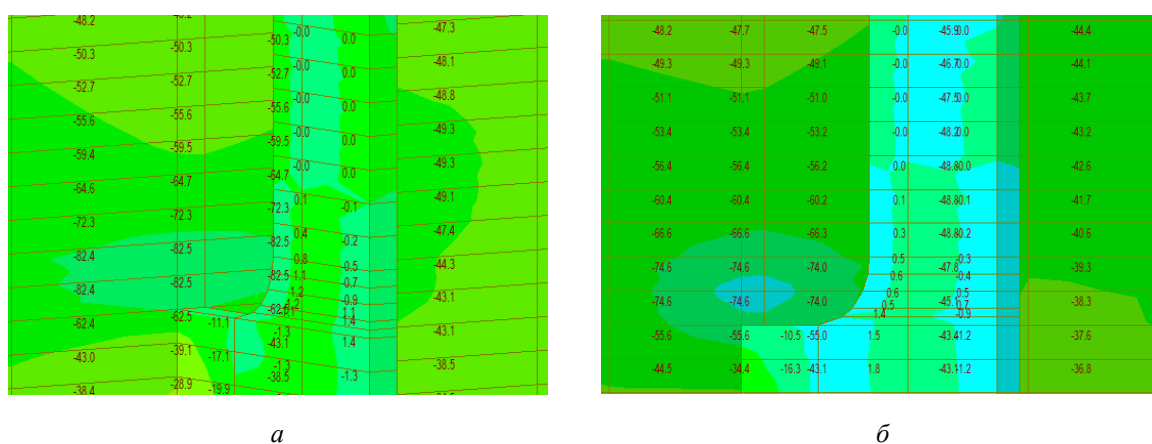


Рис. 11. Напряжения в стыке ребра жесткости со стенкой продольной балкой (МПа):  
*a* – деревянный прокладной ряд; *б* – прокладной ряд из вибромата

Таблица 2

Результаты напряжений в зонах возникновения трещин Т9 и Т10

Расположение нагрузки	Тип прокладного ряда	Напряжения					
		$\sigma_x$ , МПа	%	$\sigma_z$ , МПа	%	$\sigma_{eff}$ , МПа	%
Середина продольной балки (для Т9)	Деревянный	-29,6	81,0	-62,4	-11,0	51,9	-2,0
	Вибромат	-53,6		-55,6		50,7	
Поперечная балка (для Т9)	Деревянный	-12,4	62,0	-61,2	-46,0	56,6	-52,0
	Вибромат	-20,1		-33,0		26,9	
Середина продольной балки (Т10)	Деревянный	48,4	34,0	-4,7	6,0	49,1	33,0
	Вибромат	64,7		-5,0		65,4	
Поперечная балка (для Т10)	Деревянный	18,2	21,0	-2,6	-19,0	19,7	16,0
	Вибромат	22,0		-2,1		22,8	

### Заключение

Технология подбалластных виброматов представляет собой эффективный способ уменьшения структурного шума и вибрации на транспортных сооружениях, и они обладают высокими физическими и технологическими свойствами (например, долговечность, надежность, малый удельный вес и т.д.). Зарубежный опыт их применения показывает высокую эффективность этой технологии. Применение этой технологии на практике эффективно в условиях



плотной городской застройки, а также позволит увеличить долговечность конструкций за счет снижения вибраций. Проанализировав имеющиеся исследования, можно сделать вывод, что виброматы имеют такие достоинства, как:

- снижение шумового воздействия на 10–15 дБ;
- долговечность самих виброматов;
- незначительное влияние на жесткость сооружения;
- виброматы не влияют на истираемость балласта;
- долговечность виброматов не менее долговечности балласта (8–10 лет), и они мало подвержены усталостному разрушению.

Результаты проведенного численного эксперимента показывают, что виброматы способствуют уменьшению вертикальных напряжений, что снижает вероятность возникновения трещин типа Т9. Полученные результаты также свидетельствуют о необходимости дальнейшего исследования работы конструкций пролетного строения с виброматами и необходимости проведения не только численных экспериментов, но и лабораторных исследований на моделях, а также натуральных на эксплуатируемых объектах.

### Список литературы

1. Усов Д.А. Комплексный подход к проектированию участков переменной жесткости на подходах к мостовым сооружениям: дис. ... канд. тех. наук: 2.1.8. – Новосибирск, 2023. – 155 с.
2. KRAIBURG-RELASTEC Sub Ballast Mats & Bearings for Mass-spring Systems made of rubber granulate & polyetherurethane foam. – 2015. – P. 24.
3. CDM Stravitec Continuous Ballast Mats. – 2004. – P. 5.
4. Analysis of geometric ballast plate for laboratory testing of resilient track components / Jacob M. Branson, Marcus S. Dersch, Arthur de O. Lima, J. Riley Edwards, Jae-Yoon Kim // ELSEVEIR. Transportation Geotechnics. – 2019. – P. 10.
5. Support Condition and Traffic Loading Patterns Influencing Laboratory Determination of Under Ballast Mat Bedding Modulus and Insertion Loss / Arthur de O. Lima, Marcus S. Dersch, Erol Tutumluer, J. Riley Edwards, Yu Qian // Manuscript for Annual Meeting Compendium of Papers. – 2017. – P. 17.
6. Quantification of Ballast Deterioration Performance With and Without Ballast Mats / Arthur de O. Lima, Marcus S. Dersch, Erol Tutumluer, J. Riley Edwards, Yu Qian // A Laboratory Study. – 2017. – P. 22.
7. Comparison of Ballast Mat Performance with Different Support Conditions / Arthur de O. Lima, Marcus S. Dersch, J. Riley Edwards, Yu Qian. – 2017. – P. 19.
8. Features of Monitoring the Stress-Strain State of Structures During the Construction of Bridge Crossings / I. Zasukhin, A. Ivanov, P. Kuzmenkov [et al.] // International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia – 2021, Новосибирск, 11–14 мая 2021 года. – Новосибирск: Springer Nature, 2022. – Vol. 2. – P. 72–81. – DOI: 10.1007/978-3-030-96383-5\_9.
9. Жунев К.О. Обследование трещиноопасных узлов в болто-сварных пролетных строениях // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения: материалы IX научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 11–12 октября 2018 года. – СПб.: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2018. – С. 62–70.
10. Ефимов С.В., Жунев К.О. Моделирование динамического взаимодействия подвижного состава и железнодорожных мостов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2020. – Т. 22 (6). – С. 154–166. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-154-166
11. Жунев К.О. Динамическое воздействие подвижной нагрузки на сварные пролетные строения // наука и практика в решении стратегических и тактических задач устойчивого развития России: Сборник научных статей по итогам Национальной научно-практической конфе-

ренции, Санкт-Петербург, 30–31 января 2019 года. – СПб.: Общество с ограниченной ответственностью «Редакционно-издательский центр "КУЛЬТ-ИНФОРМ-ПРЕСС"», 2019. – С. 9–12.

12. Жунев К.О., Мурованный Ю.Н., Яшнов А.Н. Исследование усталостной долговечности сварных соединений железнодорожных пролетных строений // Транспортные сооружения. – 2020. – Т. 7, № 2. – С. 4. DOI: 10.15862/06SATS220

13. Экспериментальная динамика сооружений. Мониторинг транспортной вибрации: монография / Е.К. Борисов, С.Г. Алимов, А.Г. Усов, Л.Г. Лысак, Т.В. Крылова, Е.А. Степанова; Камчатский гос. технический ун-т, Профессорский клуб ЮНЕСКО (г. Владивосток). – Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2007.

14. Бондарь И.С. Вибродиагностика балочных пролетных строений железнодорожных мостов: дис. ... канд. техн. наук. – 2019. – 146 с.

15. Курбацкий Е.Н., Бондарь И.С., Квашнин М.Я. Исследование отклика балочных мостов от воздействия поезда // Мир транспорта. – 2015. – Т. 13, № 3 (58). – С. 58–71.

#### References

1. Usov D.A. Kompleksnyj podhod k proektirovaniju uchastkov peremennoj zhestkosti na podhodah k mostovym sooruzhenijam [An integrated approach to the design of sections of variable stiffness on the approaches to bridge structures]. Ph. D. thesis, Novosibirsk, 2023, 155 p.

2. KRAIBURG-RELASTEK Sub Ballast Mats & Bearings for Mass-spring Systems made of rubber granulate & polyetherurethane foam. 2015, 24 p.

3. CDM Stravitec Continuous Ballast Mats. 2004, 5 p.

4. Jacob M. Branson, Marcus S. Dersch, Arthur de O. Lima, J. Riley Edwards, Jae-Yoon Kim Analysis of geometric ballast plate for laboratory testing of resilient track components. ELSEVEIR. Transportation Geotechnics. 2019, 10 p.

5. Arthur de O. Lima, Marcus S. Dersch, Erol Tutumluer, J. Riley Edwards, Yu Qian Support Condition and Traffic Loading Patterns Influencing Laboratory Determination of Under Ballast Mat Bedding Modulus and Insertion Loss. Manuscript for Annual Meeting Compendium of Papers. 2017, 17 p.

6. Arthur de O. Lima, Marcus S. Dersch, Erol Tutumluer, J. Riley Edwards, Yu Qian Quantification of Ballast Deterioration Performance With and Without Ballast Mats – A Laboratory Study. 2017, 22 p.

7. Arthur de O. Lima, Marcus S. Dersch, J. Riley Edwards, Yu Qian Comparison of Ballast Mat Performance with Different Support Conditions. 2017, 19 p.

8. Zasukhin I., Ivanov A., Kuzmenkov P. [et al.]. Features of Monitoring the Stress-Strain State of Structures During the Construction of Bridge Crossings. International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia, 2021, Springer Nature, 2022, Vol. 2, pp. 72-81. DOI 10.1007/978-3-030-96383-5\_9. EDN TMEQBG.

9. Zhunev K.O. Obsledovanie treshhinoopasnyh uzlov v bolto-svarnyh proletnyh stroenijah [Inspection of crack-hazardous units in bolt-welded spans]. Obsledovanie zdaniy i sooruzhenij: problemy i puti ih reshenija: Materialy IX nauchno-prakticheskoy konferencii, Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij politehnicheskij universitet Petra Velikogo, 2018, pp. 62-70.

10. Efimov S.V., Zhunev K.O. Modelirovanie dinamicheskogo vzaimodejstviya podvizhnogo sostava i zheleznodorozhnyh mostov [Finite element model of dynamic train-bridge interaction]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta, 2020, no. 22 (6), pp. 154-166. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-154-166

11. Zhunev K.O. Dinamicheskoe vozdejstvie podvizhnoj nagruzki na svarynye proletnye stroenija [Dynamic effect of moving load on welded spans]. Nauka i praktika v reshenii strategicheskikh i takticheskikh zadach ustojchivogo razvitiya Rossii: Sbornik nauchnyh statej po itogam Nacionalnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Sankt-Peterburg, 201, pp. 9-12. EDN YZFBBR.

12. Zhunev K.O., Murovannyj Ju.N., Jashnov A.N., Issledovanie ustalostnoj dolgovechnosti svarynyh soedinenij zheleznodorozhnyh proletnyh stroenij [Research of fatigue life of welded joints of railway spans]. Transportnye sooruzhenija, 2020, Vol. 7, no., p. 4. DOI 10.15862/06SATS220. – EDN JUAXYP.

13. Borisov E.K., Alimov S.G., Usov A.G., Lysak L.G., Krylova T.V., Stepanova E.A. Jeksperimentalnaja dinamika sooruzhenij. Monitoring transportnoj vibracii [Experimental dynamics of structures. Transport vibration monitoring]: monografija; Petropavlovsk-Kamchatskij: Izd-vo KamchatGTU, 2007. ISBN 978-5-328-00160-1. EDN QNNCCX.

14. Bondar I.S. Vibrodagnostika balochnykh proletnyh stroenij zheleznodorozhnyh mostov [Vibration diagnostics of beam span structures of railway bridges] Ph. D. thesis, Moscow, 2019, 146 p.

15. Kurbackij E.N., Bondar I.S., Kвашнин M. Ja. Issledovanie otklika balochnykh mostov ot vozdejstviya poezda [Research of the response of girder bridges to the impact of a train]. Mir transporta, 2015, Vol. 13, no. 3 (58), pp. 58-71.

**Об авторах**

**Паторняк Алексей Владимирович** (Новосибирск, Российская Федерация) – студент V курса факультета «Мосты и тоннели» Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС) (630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, e-mail: patornyak\_av@mail.ru).

**Чаплин Иван Владимирович** (Новосибирск, Российская Федерация) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Мосты» Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС) (630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, e-mail: ivannumber1\_chaplin@mail.ru).

**Ефимов Стефан Васильевич** (Новосибирск, Российская Федерация) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Мосты» Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС) (630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, e-mail: esvmt@mail.ru).

**About the authors**

**Aleksey V. Patornyak** (Novosibirsk, Russian Federation) – 5<sup>th</sup> year student of the faculty «Bridges and Tunnels» of the Siberian Transport University (STU) (191, Dusi Kovalchuk str., Novosibirsk, 630049, Russian Federation, e-mail: patornyak\_av@mail.ru).

**Ivan V. Chaplin** (Novosibirsk, Russian Federation) – Associate Professor, Candidate of the department «Bridges» Siberian Transport University (STU) (191, Dusi Kovalchuk str., Novosibirsk, 630049, Russian Federation, e-mail: ivannumber1\_chaplin@mail.ru).

**Stefan V. Efimov** (Novosibirsk, Russian Federation) – Associate Professor, Candidate of the department «Bridges» Siberian Transport University (STU) (191, Dusi Kovalchuk str., Novosibirsk, 630049, Russian Federation, e-mail: esvmt@mail.ru).

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов** равноценен.

Поступила: 25.09.2023

Одобрена: 14.10.2023

Принята к публикации: 01.10.2023

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Паторняк, А.В. Применение подбалластных виброматов на мостовых сооружениях / А.В. Паторняк, И.В. Чаплин, С.В. Ефимов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023. – № 4. – С. 43–53. DOI: 10.15593/24111678/2023.04.04

Please cite this article in English as: Patornyak A.V., Chaplin I.V., Efimov S.V. Application of sub-ballast vibromates on bridge structures. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2023, no. 4, pp. 43-53. DOI: 10.15593/24111678/2023.04.04