

УДК 625.031

Лабораторные испытания виброизоляционных свойств упругих подбалластных материалов

Н. К. Маслов¹, Т. Ю. Вальцева², А. А. Сайдалиев¹

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

²Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 690021, Хабаровск, ул. Серышева, 47

Для цитирования: Маслов Н. К., Вальцева Т. Ю., Сайдалиев А. А. Лабораторные испытания виброизоляционных свойств упругих подбалластных материалов // Бюллетень результатов научных исследований. — 2025. — Вып. 3. — С. 91–106. DOI: 10.20295/2223-9987-2025-3-91-106

Аннотация

Цель: Определение эффективности виброизоляции упругих подбалластных материалов при вибродинамическом воздействии. **Методы:** В ходе экспериментов моделировались реальные условия динамических нагрузок от подвижного состава при заданном диапазоне возбуждающих частот с использованием специализированного испытательного оборудования, что позволило оценить динамические характеристики и передаваемость вибрации двух образцов подбалластных матов разной толщины и плотности. **Результаты:** Определены динамические характеристики, и выявлена зависимость эффективности виброизоляции от частотного диапазона, типа материала и его жесткости. Оптимальная виброизоляция испытываемых образцов подбалластных матов наблюдается в диапазоне частот от 28 до 30 Гц, в котором жесткий и плотный образец UBM-1 демонстрируют лучшие упругодемпфирующие свойства, чем гибкий и утолщенный образец UBM-2. **Практическая значимость:** Исследование обеспечивает моделирование полевых условий и более точное представление о передаваемости вибрации и упругих свойствах подбалластных матов. Полученные результаты позволяют оптимизировать выбор виброизолирующих упругих материалов и определить эффективность виброизоляции в низкочастотной области, критичной для инфраструктуры, которая дает значимые показатели снижения уровня динамических воздействий, передаваемых на основание пути.

Ключевые слова: Виброизоляция, подбалластные маты, вибродинамическое воздействие, передаваемость вибрации, комплексный модуль упругости, коэффициент потерь, собственная частота колебаний.

Введение

Ежедневно современные железнодорожные пути подвергаются значительным вибродинамическим нагрузкам, вызванным движением скоростных и высокоскоростных поездов, что приводит к ускоренному износу элементов пути и ухудшению эксплуатационных характеристик, а также возникновению негативных факторов динамического воздействия.

Некоторые исследования показали, что на стыке колеса и рельса из-за прохождения нагрузки и динамических сил, вызванных неровностями колес и рельса, возникают колебания, которые передаются от рельса через балластную призму

к грунту пропорционально размеру неровностей и механическому сопротивлению колеса и рельса [1, 2].

Специальные исследования и практика эксплуатации бесстыкового пути показывают, что вибрационный характер действия сил значительно интенсифицирует его расстройство в профиле и требует дополнительных средств на устранение отступлений от норм [3].

Частотный анализ колебательного движения при воздействии импульса ускорения, выполненный отечественными исследователями, показал зависимость коэффициента передачи вибрации от шпалы к балласту при различных характеристиках упругой связи между ними и соотношениях вынужденной и собственной частот путем анализа передаточной функции системы на участке «шпала — основание». В момент, когда частота возмущающей силы меньше собственной частоты системы, коэффициент передачи от шпалы к основанию не может быть менее 1, и уменьшения доли передаваемых ускорений можно достичь за счет увеличения виброгашения. Оптимальная виброизоляция наступает, когда отношение возбуждающей частоты f к собственной частоте системы f_0 становится более $\sqrt{2}$ [3].

В связи с этим особую актуальность приобретают методы и технологии, направленные на эффективное гашение вибрации, одним из которых является использование упругих подбалластных материалов, способных снижать распространение волн в грунте при разных частотах динамического воздействия.

Согласно ГОСТ Р 70258—2022 упругие маты предназначены для уменьшения и оптимизации статического и динамического модулей упругости в целях снижения динамической нагрузки, передаваемой на верхнее строение пути [4].

Однако трактовка зарубежных норм для исследования статических и динамических характеристик подбалластных матов учитывает также и вязкоупругие параметры, например потери энергии материала при циклическом динамическом нагружении. Потери проявляются на графике зависимости напряжения от деформации в виде петли, площадь которой пропорциональна энергии, рассеянной за цикл, что свидетельствует о вязкоупругом поведении материала. Данный процесс связан с внутренним трением в материале при нагружении и разгрузке [5–7].

В более подробных зарубежных исследованиях вибрации на железнодорожных путях была разработана система виброизоляции подбалластными матами, которая, в свою очередь, настраивается путем регулировки динамической массы конструкции m , жесткости изоляционных материалов k и коэффициента потерь упругих элементов η [8, 9].

Основная цель данного исследования состоит в изучении расчетной методики виброизоляции верхнего строения пути упругими подбалластными матами посредством анализа результатов лабораторных испытаний в условиях, приближенных к реальным эксплуатационным.

Таким образом, задачами исследования стали: определение динамических характеристик упругих материалов и их зависимостей от частотного диапазона; расчет значений модуля упругости, потерь и жесткости вязкоупругих испытываемых материалов; оценка эффективности виброгашения при сравнении с нормативными значениями.

Экспериментальные материалы и методы

Материалы для проведения испытаний

Для достижения целей данного исследования в качестве тестовых образцов были использованы два вида подбалластных матов разной толщины и плотности. Линейные размеры испытываемых образцов были определены на основе площади распределения максимального напряжения и удовлетворялись требованиям ГОСТ Р 70258—2022 [4, п. 5.3].

Основные характеристики образцов приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Характеристики образцов резиновых матов

Характеристики	UBM-1	UBM-2
Длина × ширина × толщина, мм	300 × 300 × 9	300 × 300 × 12
Плотность, кг/м ³	2050	440

В табл. 1 стоит обратить внимание, что испытываемый образец UBM-1 имеет высокую плотность, которая превосходит данный показатель у образца UBM-2 более чем в 4,5 раза.

Оборудование для испытаний

Для оценки эффективности упругих свойств подбалластных матов в конструкции пути испытания проводились на испытательной установке, обеспечивающей динамическое нагружение с максимальной амплитудой по перемещению, представленной на рис. 1. Неподвижная опорная площадка, по центру которой устанавливается образец, представляет собой жесткую стальную плиту с размерами сторон $(320,0 \pm 5,0) \times (320 \pm 5,0)$ мм и толщиной не менее $(30 \pm 0,5)$ мм. Виброплита имеет габаритные размеры 350×350 мм и частоту вибрации 50 Гц.

Для испытаний использовался комплект акселерометров, позволяющих регистрировать амплитуду, скорость вибрации и истинную частоту с помощью регистрирующего прибора MISC 026.



Рис. 1. Испытательная установка. Автор: Н. К. Маслов

Проведение испытаний

Лабораторные испытания образцов проводились при нагрузках, соответствующих реальным условиям эксплуатации.

Статические испытания вибродемпфирующих материалов на сжатие заключались в определении входных и выходных параметров нагружения, при этом регистрация значений измеряемых параметров проводилась в течение всего процесса испытаний. Образцы испытания подвергались сжатию между параллельными металлическими пластинами с постоянной скоростью до достижения требуемой максимальной нагрузки [4, табл. 2]. Проведено пятикратное сжатие в диапазоне нагрузок $F_{\min} - F_{\max}$ со скоростью нагружения (900 ± 10) Н/с.

Для определения динамических характеристик и коэффициента передаваемости вибрации испытываемые образцы подвергались динамической циклической нагрузке с помощью испытательной установки для получения кривых зависимости динамической нагрузки от перемещения. Измерения динамических характеристик образцов были проведены для частот 1 Гц, 5, 10, 20 и 30 Гц. Приложение синусоидального воздействия осуществлялось на фиксированной частоте в течение не менее 60 с для каждого образца. Экспериментальные данные за последние 5 с извлекались для дальнейшего исследования.

Результаты и анализ испытаний

В результате лабораторных испытаний были получены значения максимальной и минимальной величин нагрузок и деформаций за каждый цикл, а также промежуточные значения нагрузок и деформаций в произвольные моменты времени t .

Для тестовых образцов определены значения удельной статической жесткости C_{stat} с допущением, что применяемый диапазон нагружения составляет 0,012–0,25 Н/мм², а оценочный диапазон 0,02–0,10 Н/мм².

Результаты испытаний представлены в виде графических зависимостей (рис. 2, 3) между статическим нагружением и смещением для двух образцов.

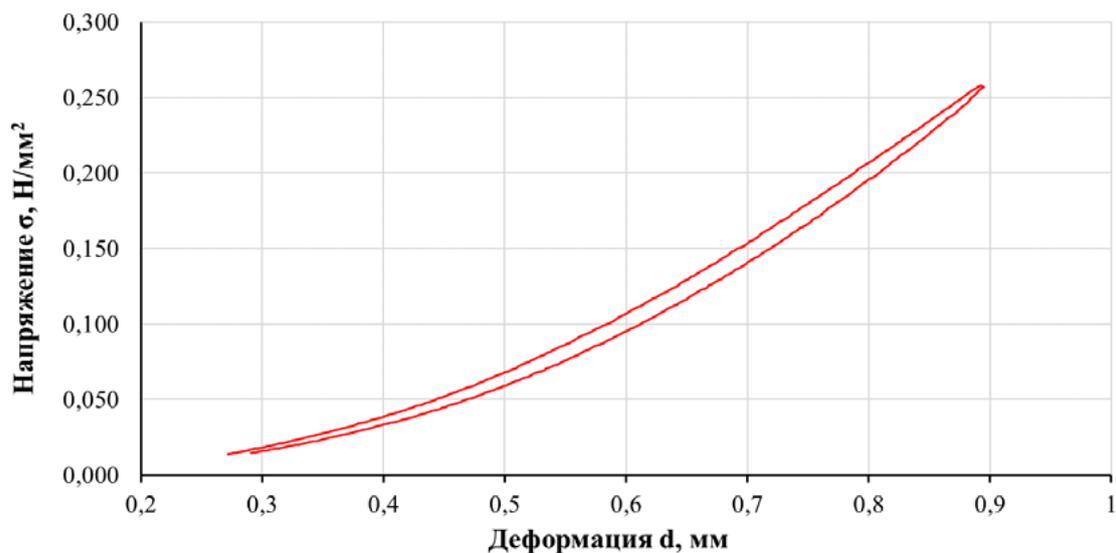


Рис. 2. Зависимость деформации от статической нагрузки образца UBM-1.
Автор: Н. К. Маслов

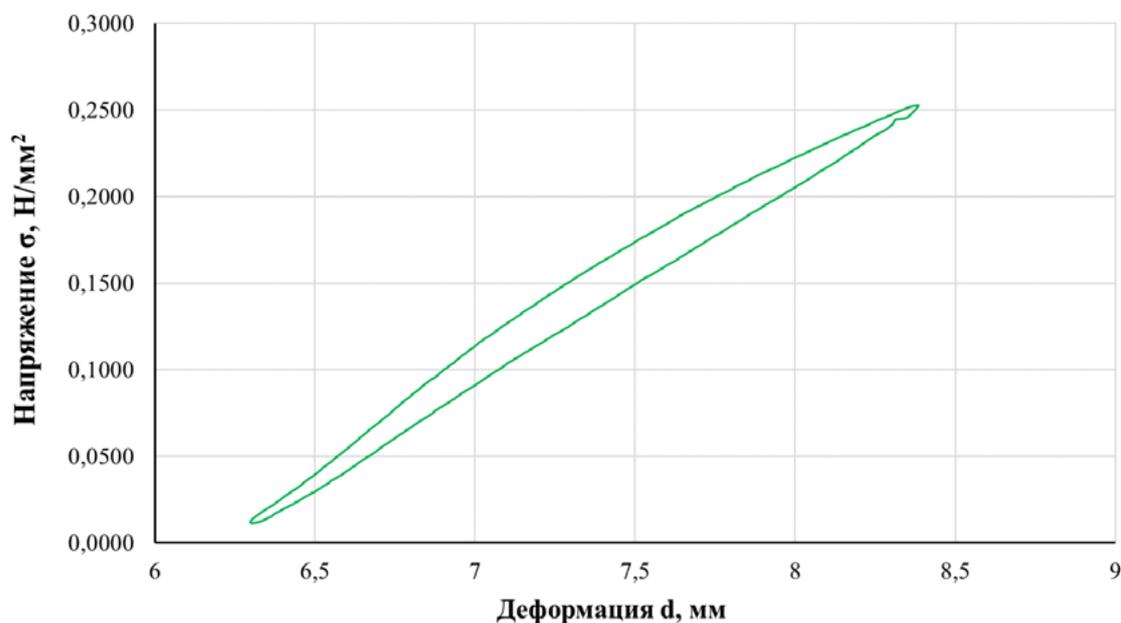


Рис. 3. Зависимость деформации от статической нагрузки образца UBM-2.
Автор: Н. К. Маслов

Из диаграмм видно, что кривые зависимости смещения от статической нагрузки демонстрируют очевидные нелинейные характеристики.

Деформация образца UBM-1 демонстрирует параболическую зависимость от прикладываемой нагрузки и достигает наибольшего прогиба порядка 0,89 мм при напряжении 0,25 Н/мм². При разгрузке кривая деформации не возвращается в исходную точку нагружения, что свидетельствует об остаточной деформации образца или некотором временном периоде после снятия нагрузки для возвращения образца в исходное состояние.

Деформация образца UBM-2, плавно возрастая, демонстрирует зависимость, близкую к прямо пропорциональному типу. При приложении нагрузки деформация возрастает до 8,38 мм при изменении нагрузки от 0,011 до 0,25 Н/мм².

При сравнении упругих статических характеристик двух образцов подбалластных матов стоит заметить, что при идентичном диапазоне нагружения максимальный прогиб UBM-2 превышает значение данного параметра образца UBM-1 в 9,5 раза, что предварительно можно обосновать различными структурами и плотностью подбалластных матов.

Значения удельной динамической жесткости C_{dyn} определены для двух испытанных образцов с использованием динамического возбуждения при помощи пульсатора. Диапазон приложенных и оцененных нагрузок составлял 0,02–0,10 Н/мм². Результаты испытаний сведены в табл. 2, в которой приведены средние значения удельной динамической жесткости при разных частотах воздействия.

ТАБЛИЦА 2. Значения удельной статической и динамической жесткостей на низких частотах для двух образцов подбалластных матов

	Удельная статическая жесткость C_{stat} , Н/мм ³	Удельная динамической жесткость C_{dyn} , Н/мм ³				
		1 Гц	5 Гц	10 Гц	20 Гц	30 Гц
UBM-1	0,282	0,333	0,343	0,349	—	0,358
UBM-2	0,121	0,194	0,216	0,219	0,175	—

Динамические упругие характеристики образцов основаны на силовом управлении пульсатором с малыми амплитудами перемещений, зависящими от частоты, и представлены в виде диаграмм (рис. 4, 5).

На рис. 4 при приложении нагрузки с частотами 1 Гц, 5 и 30 Гц наблюдается практически одинаковый характер поведения кривых, близкий к линейному. В интервале частот деформация возрастает от 0,34 мм (1 Гц) и 0,35 мм (5 и 30 Гц) до 0,58 мм (1 Гц и 5 Гц) и 0,59 мм (30 Гц) при динамическом нагружении от 0,02–0,021 Н/мм² до 0,10–0,101 Н/мм² и при разгрузке, претерпевая некоторые потери, возвращается в исходную точку.

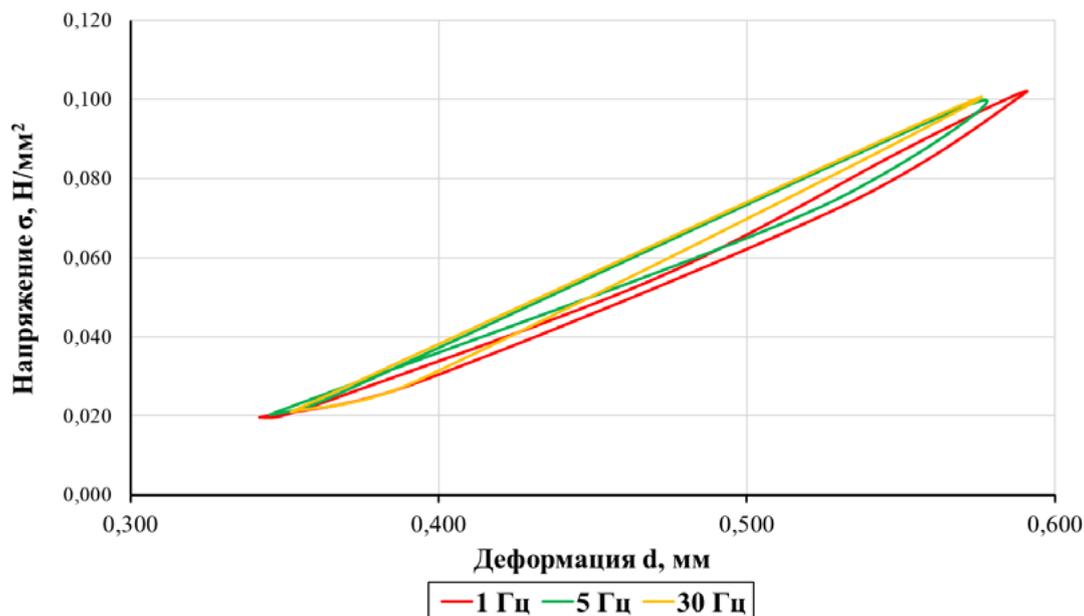


Рис. 4. Динамические упругие характеристики образца UBM-1. Автор: Н. К. Маслов

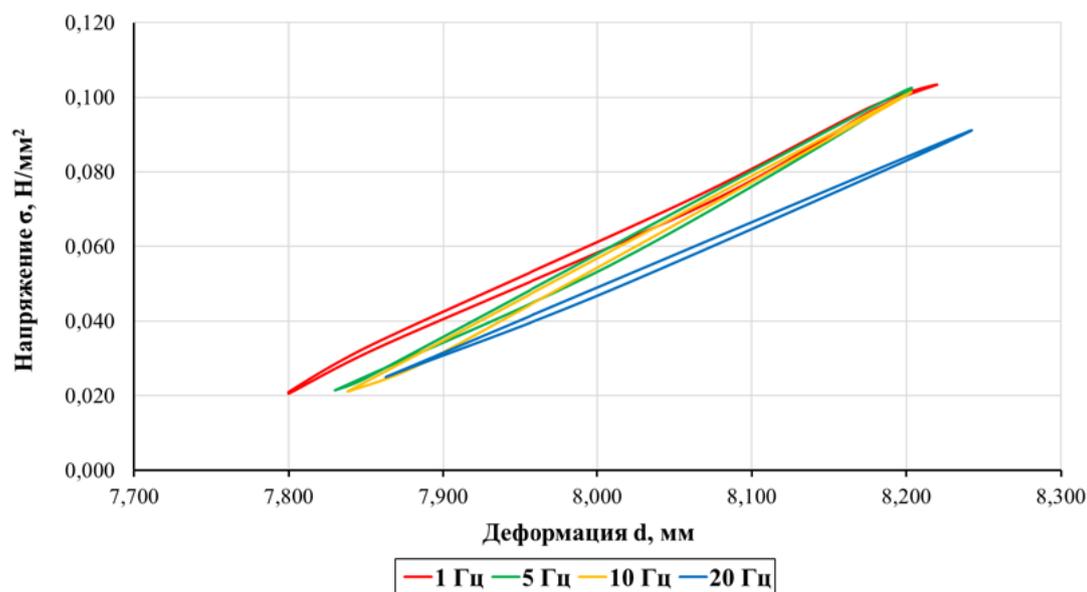


Рис. 5. Динамические упругие характеристики образца UBM-2. Автор: Н. К. Маслов

На рис. 5 зависимость упругого прогиба от динамической нагрузки показывает также близко линейные свойства образца. При частоте 1 Гц упругий прогиб изменяется от 7,80 до 8,22 мм в диапазоне динамических нагрузок от 0,021 до 0,103 Н/мм². При частотах 5 и 10 Гц деформация возрастает с 7,83 мм (5 Гц) и 7,84 мм (10 Гц) до 8,20 мм в интервале нагрузок от 0,021 до 0,102 Н/мм². При частоте воздействия 20 Гц образец демонстрирует иные упругие динамические показатели, при которых прогиб изменяется от 7,86 до 8,24 мм в диапазоне напряжений от 0,024 до 0,091 Н/мм².

Таким образом, по сравнению с результатами динамических характеристик в заданном частотном диапазоне, образец UBM-2 достигает наибольшего упругого прогиба при приложении динамической нагрузки, меньшей максимальной оценочной, что говорит об уменьшении жесткости образца при частоте воздействия 20 Гц.

На рис. 4 и 5 кривые зависимости смещения от нагрузки также представляют собой динамические гистерезисные характеристики, имеющие форму эллипса, что свидетельствует о вязкоупругих свойствах образцов подбалластных матов. Площадь эллипса соответствует величине демпфирования — чем больше площадь, тем эффективнее виброизоляция материала. Поскольку резина является однородным полимерным материалом, движение молекул при деформации не происходит мгновенно, так как притяжение между молекулами должно преодолевать энергию колебаний атомов. Материал деформируется, но из-за вязкоупругого поведения деформация отстает от напряжения на величину угла потерь δ .

Согласно расчетам, приведенным в табл. 2, значение удельной динамической жесткости образцов больше значения удельной статической жесткости. Следовательно, когда деформация резинового материала происходит медленно, исходное состояние может быть легко восстановлено с течением времени. Если частота воздействия увеличивается, молекулам резины не хватает времени на перестройку, что приводит к очевидному и одновременному снижению эластичности и, как следствие, к более высокому значению динамической жесткости по сравнению со статической жесткостью. Кроме того, вычисляется эквивалентный динамический модуль упругости, который также может быть использован при анализе методом конечных элементов.

Значения динамической жесткости могут быть применимы для расчета функции передаваемости вибрации и вносимых потерь, которые являются результатом применения подбалластных матов в путевой структуре.

Сравнение площадей петель упругого гистерезиса, полученных при динамических испытаниях двух образцов на различных частотах, указывает на более высокую эффективность демпфирования образца UBM-1 на частотах 1 Гц, 5 и 10 Гц. Для определения точных и оптимальных значений виброизоляции проводились соответствующие расчеты.

Исходя из ГОСТ Р 58017—2017 [10], универсальной динамической характеристикой является величина комплексного модуля вязкоупругого материала, который подвергают воздействию синусоидальных колебаний.

Значение комплексного модуля определяется из выражения (1):

$$E^* = E' + iE'', \quad (1)$$

где E' — модуль упругости, МПа; E'' — модуль механических потерь, МПа.

Применяя метод преобразования эквивалентного модуля упругости и принимая верхний и нижний пределы нагрузки для испытываемых образцов при

динамическом воздействии, эквивалентный динамический модуль упругости вычисляется по формуле (2):

$$E_{dyn} = \sqrt{E'^2 + E''^2}. \quad (2)$$

В свою очередь, модуль упругости и модуль механических потерь определяются по формулам (3)–(4):

$$E' = \frac{\sigma_0 h}{\varepsilon_0} \cos \delta; \quad (3)$$

$$E'' = \frac{\sigma_0 h}{\varepsilon_0} \sin \delta, \quad (4)$$

где σ_0 — амплитуда напряжения, Н/мм²;

ε_0 — амплитуда деформации, мм;

h — толщина образца, мм;

δ — фазовый угол сдвига между нагрузкой и перемещением, градусы.

Жесткость испытываемых образцов рассчитывается по формуле (5):

$$k = \frac{E_{dyn} A}{h}, \quad (5)$$

где A — эффективная площадь подбалластного мата, мм².

Результаты расчета величин эквивалентного динамического модуля упругости и жесткости протестированных образцов подбалластных матов представлены в виде графических зависимостей от частотного диапазона нагружения на рис. 6 и 7 соответственно.

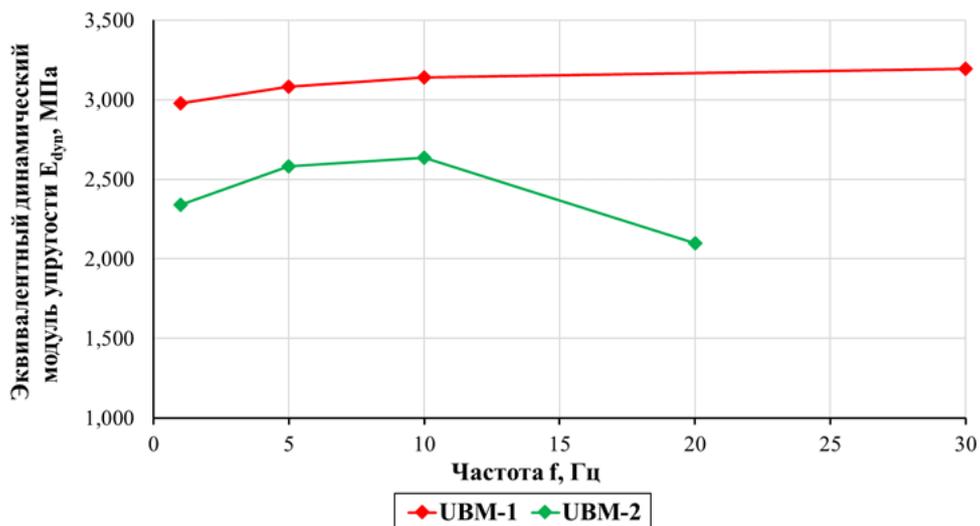


Рис. 6. Зависимость эквивалентного динамического модуля упругости E_{dyn} от частоты нагрузки для двух образцов подбалластных матов. Автор: Н. К. Маслов

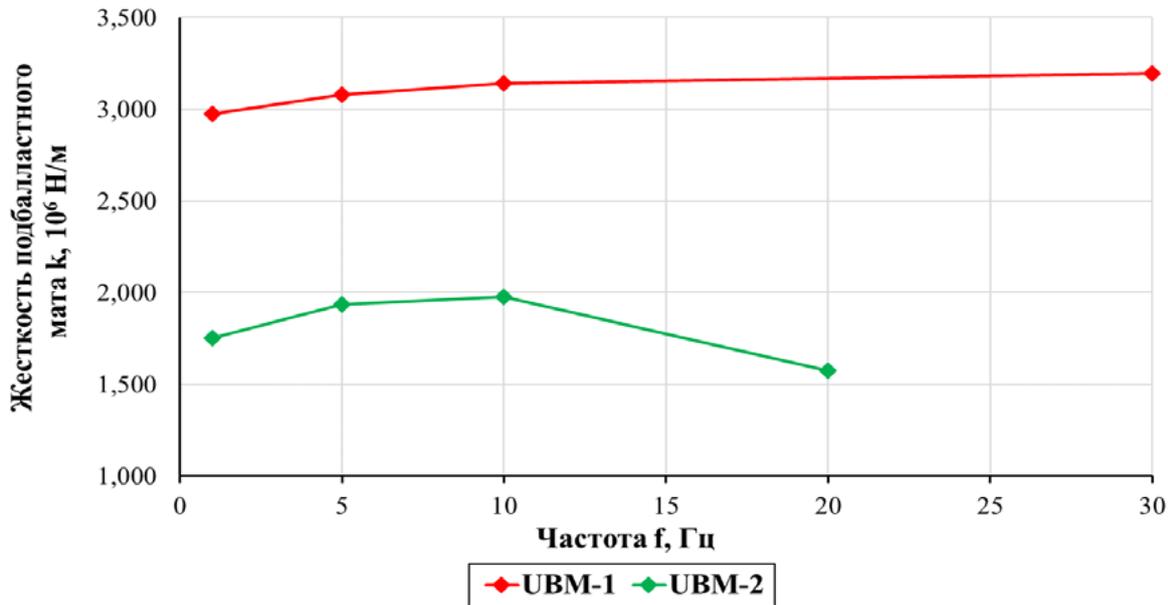


Рис. 7. Зависимость жесткости испытываемых образцов от частоты нагрузки.

Автор: Н. К. Маслов

Характер поведения кривых зависимостей динамического модуля упругости и жесткости от частоты идентичен. Динамические характеристики образца UBM-1 плавно возрастают с ростом частоты нагружения от 1 до 30 Гц — эквивалентный динамический модуль упругости изменяется от 2,98 до 3,19 МПа, а жесткость образца с похожей интенсивностью увеличивается с $2,98 \cdot 10^6$ до $3,19 \cdot 10^6$ Н/м.

Образец UBM-2 демонстрирует иную картину: его характеристики интенсивно возрастают при изменении частот до 10 Гц — динамический модуль упругости с 2,34 до 2,64 МПа и жесткость материала с $1,75 \cdot 10^6$ до $1,98 \cdot 10^6$ Н/м, однако на более высоких частотах описанные характеристики быстро идут на спад и при 20 Гц достигают минимума значений 2,10 МПа и $1,57 \cdot 10^6$ Н/м соответственно.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что образец мата UBM-1 сохраняет свои динамические свойства с ростом частотной характеристики воздействия, в то время как виброгасящий мат UBM-2 претерпевает усталостные изменения при циклическом нагружении на частотах воздействия более 10 Гц, частично теряет свои первоначальные упругие свойства и становится менее устойчивым к деформациям, что с практической точки зрения ведет к снижению эффективности демпфирования, т. е. материал хуже поглощает и рассеивает энергию колебаний, увеличивая передачу вибрации на основание.

Оптимальная виброизоляция системы достигается путем регулировки передаточной функции и определения численного значения коэффициента виброизоляции, представляющего собой отношение амплитуды вибрации на выходе системы к амплитуде вибрации на входе. Передаточную функцию системы можно представить формулой (6):

$$T = \frac{\sqrt{1 + \eta^2 \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2 + \eta^2 \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}}, \quad (6)$$

где η — коэффициент механических потерь, равный тангенсу фазового угла сдвига между динамической нагрузкой и перемещением;

f — частота воздействия, Гц;

f_0 — собственная частота, определяемая по формуле (7):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad (7)$$

где m — неподрессоренная масса колесной пары, ≈ 1800 кг.

Полученные значения коэффициента механических потерь на разных частотах показаны на рис. 8. Коэффициент потерь образца UBM-1 плавно уменьшается при возрастании частоты до 5 Гц и достигает своего минимального значения, демонстрируя наименьшую эффективность виброизоляционных свойств материала на низких частотах. Однако по мере возрастания частоты с 5 до 30 Гц он интенсивно изменяется от 0,138 до 0,251, что свидетельствует о росте способности рассеивать энергию колебаний и связано с изменением его внутренней структуры или условий нагружения. Коэффициент потерь образца UBM-2 показывает

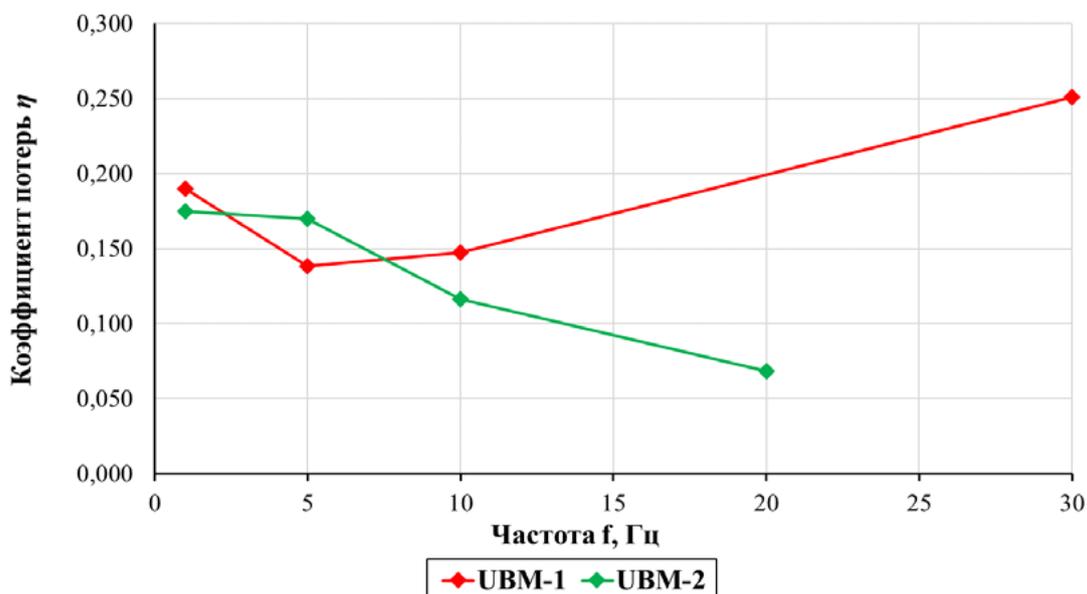


Рис. 8. Зависимость коэффициента потерь от частоты воздействия.

Автор: Н. К. Маслов

обратно пропорциональную зависимость — в процессе повышения частоты воздействующей силы величина потерь претерпевает изменения с 0,175 при 1 Гц до 0,068 при 20 Гц. Причиной может служить структурная перестройка резины при снижении гистерезиса из-за уменьшения внутреннего трения, вследствие чего образец становится более упругим, но хуже поглощает энергию, что увеличивает передачу колебаний к основанию.

Оптимальная виброизоляция достигается при отношении частоты нагружения к собственной частоте системы, равном более $\sqrt{2}$. При этом условии система работает в области, где инерционные силы доминируют над упругими. Виброизоляция эффективна, когда передаваемость $T < 1$, то есть амплитуда вибрации на выходе меньше, чем на входе. Результаты расчета передаваемости вибрации в зависимости от частотного диапазона нагружения представлены на рис. 9.

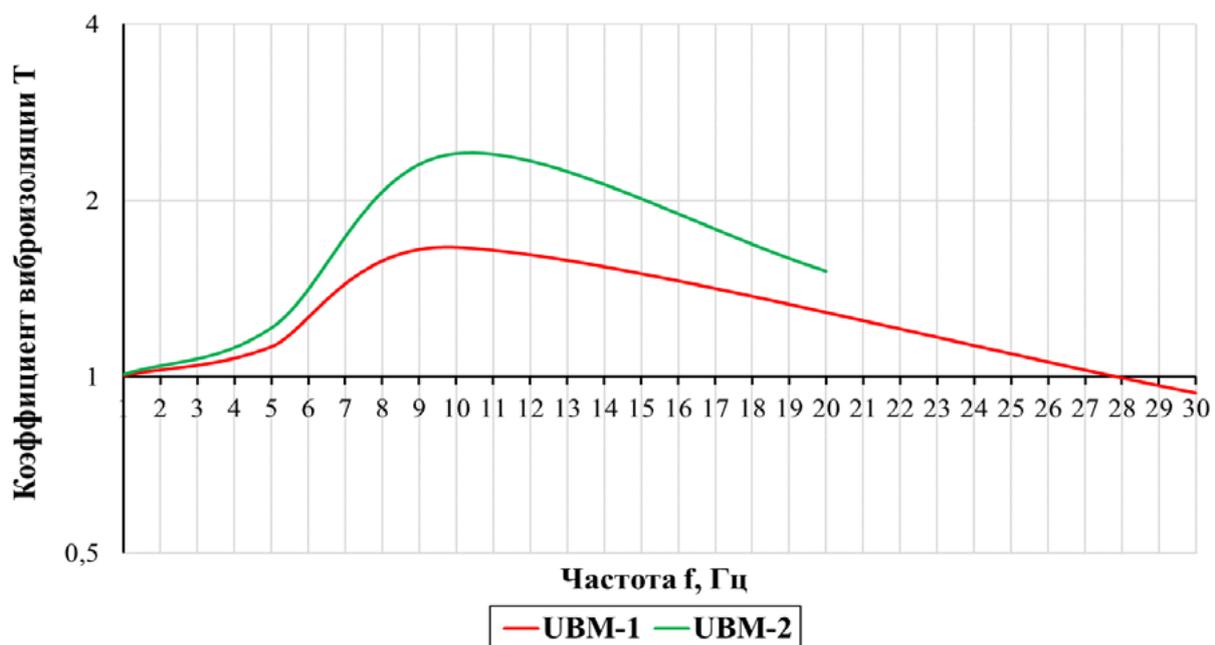


Рис. 9. Зависимость коэффициента виброизоляции от частоты воздействия.

Автор: Н. К. Маслов

График изменения коэффициента виброизоляции представляет собой логарифмическую функцию. Показатель передаваемости вибрации образца UBM-1 с увеличением интенсивности воздействия возрастает по параболической зависимости с 1,005 и достигает пика значения, равного 1,663 при 10 Гц. После чего постепенно уменьшается с ростом частоты, приобретая характер, близкий к линейному прямо пропорциональному типу, и доходит до значения 0,938 при 30 Гц. Из рис. 9 видно, что при частоте нагружения свыше 28 Гц исследуемый показатель по величине становится менее единицы, что свидетельствует об уменьшении амплитуды вибрации на выходе системы, по сравнению с амплитудой на входе. Коэффициент

виброизоляции образца UBM-2 демонстрирует идентичную зависимость параболического типа по мере возрастания частоты с 1 до 10 Гц, изменяясь с 1,008 до 2,408 и далее уменьшаясь до значения 1,515 при 20 Гц.

Сравнение полученных зависимостей позволяет сделать вывод, что подбалластный мат UBM-1 имеет лучшие свойства виброгашения по сравнению с UBM-2, достигая оптимальной виброизоляции в диапазоне частот от 28 до 30 Гц. Однако ввиду того, что образец UBM-2 не был испытан при частоте воздействия 30 Гц, нельзя с уверенностью говорить, что подбалластный мат не достигает оптимальной виброизоляции на более высоких частотах экспериментального диапазона.

Выводы

В ходе испытаний были определены динамические характеристики и оптимальные параметры виброизоляции исследуемых двух различных по толщине и плотности подбалластных матов, включая их коэффициент передаваемости вибрации, жесткость и коэффициент механических потерь, которые позволяют эффективно снижать динамические воздействия.

По результатам испытаний были сделаны следующие выводы:

1. Динамические характеристики исследуемых подбалластных матов являются гистерезисными, удельная динамическая жесткость образцов превосходит удельную статическую жесткость из-за вязкоупругих свойств.

2. Жесткость подбалластных матов заметно меняется при изменении уровня нагрузки. С ростом частоты воздействия показатель динамического модуля упругости и жесткости подбалластного мата UBM-1 стабильно прогрессивный, в то время как UBM-2 претерпевает усталостные изменения при циклическом нагружении на частотах свыше 10 Гц, в результате его жесткость уменьшается на 20 % при достижении частоты 20 Гц.

3. Резина UBM-1 имеет больший коэффициент потерь по сравнению с UBM-2, что указывает на лучшее внутреннее трение материала и высокую скорость поглощения энергии.

4. Плотность, толщина и структура материала, используемого в качестве виброизолятора, оказывают существенное влияние на значения динамического модуля упругости и жесткости, следовательно, влияют на эффективность изоляции вибраций. В рамках исследования более плотный и жесткий подбалластный мат демонстрирует лучшие виброизоляционные свойства, которые превосходят показатели гашения вибрации гибкого подбалластного мата на 7 % при 5 Гц и на 30 % при 10 Гц.

5. Оптимальная виброизоляция испытываемых подбалластных матов наблюдается в диапазоне частот от 28 Гц до 30 Гц.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ntotsios E. The effect of track load correlation on ground-borne vibration from railways / E. Ntotsios, D. Thompson, M. Hussein // *Journal of Sound and Vibration*. — 2017. — Vol. 402. — Pp. 142–163.
2. Kouroussis G. Railway ground vibrations induced by wheel and rail singular defects / G. Kouroussis, D. P. Connolly, G. Alexandrou, K. Vogiatzis // *Vehicle System Dynamics*. — 2015. — Vol. 53. — Iss. 10. — Pp. 1500–1519.
3. Управление надежностью бесстыкового пути / В. С. Лысюк, В. Т. Семенов, В. М. Ермаков; под ред. В. С. Лысюка. — М.: Транспорт, 1999. — 373 с.
4. ГОСТ Р 70258—2022. Маты подбалластные для виброизоляции конструкции верхнего строения пути. Методы испытаний. — М.: НИИСФ РААСН, 2022. — 12 с.
5. Kraskiewicz C. Static and dynamic characteristics of resilient mats for vibration isolation of railway tracks / C. Kraskiewicz, C. Lipko, M. Pludowska, A. Zbiciak // *Procedia Engineering*. — 2016. — Vol. 153. — Pp. 317–324.
6. DIN 45673-1:2010-08 Mechanical vibration. Resilient elements used in railway tracks. Part 1: Terms and definitions, classification, test procedures.
7. DIN V 45673-4-2008 Mechanical vibration. Resilient elements used in railway tracks. Part 4: Analytical evaluation of insertion loss of mounted track systems.
8. Wettschureck R. G. Vibration and structure-borne sound isolation by means of cellular polyurethane (PUR) elastomers / R. G. Wettschureck // *Proceedings Vibrationsdagen (SVIB)*. — Stockholm, Sweden, 1994. — Pp. 21–52.
9. Wettschureck R. G. Reduction of structure-borne noise emissions from above-ground railway lines by means of ballast mats / R. G. Wettschureck, M. Heim, S. Mühlbacher // *Proceedings Inter-noise 97*. — Budapest, 1997. — Pp. 577–580.
10. ГОСТ Р 58017—2017. Пластмассы. Определение механических свойств при динамическом нагружении. Сжатие. — М.: Стандартинформ, 2017. — 12 с.

Дата поступления: 04.06.2025

Решение о публикации: 11.07.2025

Контактная информация:

МАСЛОВ Никита Кахраманович — аспирант, инженер кафедры «Строительство дорог транспортного комплекса»; nikita.digital@mail.ru

ВАЛЬЦЕВА Татьяна Юрьевна — канд. техн. наук, доц. кафедры «Мосты, тоннели и подземные сооружения»; vtu25@mail.ru

САЙДАЛИЕВ Абдунаим Абдурауфович — аспирант кафедры «Строительство дорог транспортного комплекса»; saidaliev18@mail.ru

Laboratory Tests to Investigate the Vibration Isolation Properties of Elastic Under-Ballast Materials

N. K. Maslov¹, T. Yu. Valtseva², A. A. Saidaliev¹

¹Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

²Far Eastern State Transport University, 47, Serishev str., Khabarovsk, 680021, Russian Federation

For Citation: Maslov N. K., Valtseva T. Yu., Saidaliev A. A. Laboratory Tests to Investigate the Vibration Isolation Properties of Elastic Under-Ballast Materials. *Bulletin of scientific research results*, 2025, iss. 3, pp. 91–106. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-3-91-106

Summary

Purpose: To ascertain the efficacy of vibration isolation of elastic under-ballast materials under vibrodynamic impact. **Methods:** In the course of the experiments, real conditions of dynamic loads from rolling stock were simulated at a given range of exciting frequencies using specialised test equipment. This made it possible to evaluate the dynamic characteristics and vibration transmissibility of two samples of under-ballast mats having different thickness and density. **Results:** A comprehensive investigation was conducted to ascertain the dynamic characteristics of the samples under study. This investigation revealed the dependence of vibration isolation efficiency on the frequency range, the type of material used, and its stiffness. Optimal vibration isolation of the tested samples of under-ballast mats was observed in the frequency range from 28 to 30 Hz. In this range, the rigid and dense sample UBM-1 demonstrates better damping properties than the flexible and thickened sample UBM-2. **Practical significance:** The study provides a comprehensive modelling of field conditions, facilitating a more precise understanding of vibration transmissibility and the elastic properties of under-ballast mats. The results obtained make it possible to optimise the choice of vibration-insulating elastic materials and determine the effectiveness of vibration isolation in the low-frequency range, critical for infrastructure. This provides significant indicators of reducing the level of dynamic impacts transmitted to the track base.

Keywords: Vibration isolation, under-ballast mats, vibrodynamic impact, vibration transmissibility, complex elastic modulus, loss factor, natural oscillation frequency.

References

1. Ntotsios E., Thompson D., Hussein M. The effect of track load correlation on ground-borne vibration from railways. *Journal of Sound and Vibration*, 2017, vol. 402, pp. 142–163.
2. Kouroussis G., Connolly D. P., Alexandrou G., Vogiatzis K. Railway ground vibrations induced by wheel and rail singular defects. *Vehicle System Dynamics*, 2015, vol. 53, Iss. 10, pp. 1500–1519.
3. Lysyuk V. S., Semenov V. T., Ermakov V. M.; ed. by Lysyuk V. S. *Upravlenie nadezhnost'yu besstykovogo puti* [Reliability management of continuous welded rail track]. Moscow: Transport Publ., 1999, 373 p. (In Russian)
4. *GOST R 70258—2022. Maty podballastnye dlya vibroizolyatsii konstruktssii verkhnego stroeniya puti. Metody ispytaniy* [Subballast mats for vibration isolation of track superstructure. Testing methods]. Moscow: NIISF RAASN Publ., 2022, 12 p. (In Russian)

5. Kraskiewicz C., Lipko C., Pludowska M., Zbiciak A. Static and dynamic characteristics of resilient mats for vibration isolation of railway tracks. *Procedia Engineering*, 2016, vol. 153, pp. 317–324. (In English)
6. DIN 45673-1:2010-08 Mechanical vibration. Resilient elements used in railway tracks. Part 1: Terms and definitions, classification, test procedures.
7. DIN V 45673-4-2008 Mechanical vibration. Resilient elements used in railway tracks. Part 4: Analytical evaluation of insertion loss of mounted track systems.
8. Wettschureck R. G. Vibration and structure-borne sound isolation by means of cellular polyurethane (PUR) elastomers. *Proceedings Vibrationsdagen (SVIB)*. Stockholm, Sweden, 1994, pp. 21–52. (In English)
9. Wettschureck R. G., Heim M., Mühlbacher S. Reduction of structure-borne noise emissions from above-ground railway lines by means of ballast mats. *Proceedings Inter-noise 97*, Budapest, 1997, pp. 577–580. (In English)
10. *GOST R 58017—2017. Plastmassy. Opredelenie mekhanicheskikh svoystv pri dinamicheskoy nagruzhennii. Szhatiya* [GOST R 58017—2017. Plastics. Determination of mechanical properties under dynamic loading. Compression]. Moscow: Standartinform Publ., 2017, 12 p. (In Russian)

Received: June 04, 2025

Accepted: July 11, 2025

Author's information:

Nikita K. MASLOV — Postgraduate Student, Engineer, Department “Construction of Roads of the Transport Complex”; nikita.digital@mail.ru

Tatyana Yu. VALTSEVA — PhD in Engineering, Associate Professor, Department “Bridges, Tunnels and Underground Structures”; vtu25@mail.ru

Abdunaim A. SAIDALIEV — Postgraduate Student, Department “Construction of Roads of the Transport Complex”; saidaliev18@mail.ru