



**РОСЖЕЛДОР**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Ростовский государственный университет путей  
сообщения»  
(ФГБОУ ВО РГУПС)

---

Научно-техническая библиотека

# **ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА. СНИЖЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВИБРАЦИИ НА ЧЕЛОВЕКА**

**аналитический обзор научной литературы**

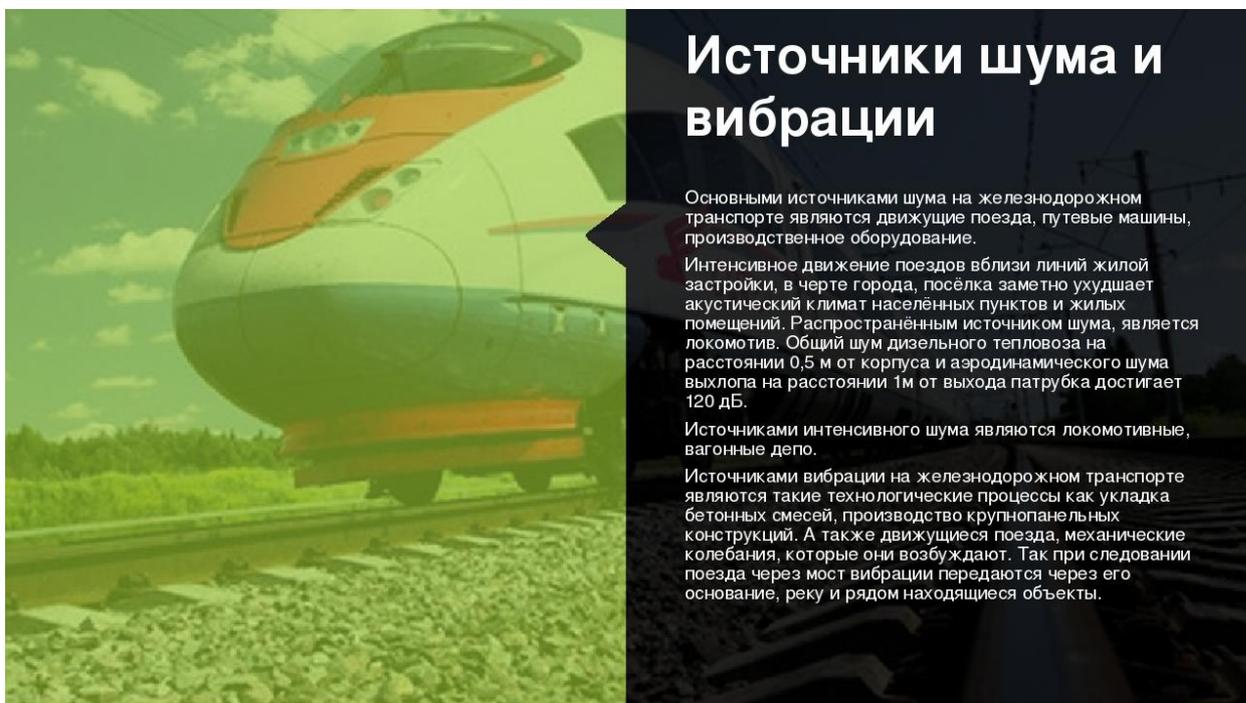


Ростов-на-Дону  
2021

**Составитель: Г.Л. Демидова, ведущий библиотекарь НТБ**

Железнодорожные экипажи (локомотивы, вагоны) представляют собой сложные динамические системы. Вибрации на железнодорожном транспорте создаются разными источниками: двигателями внутреннего сгорания, компрессорами, генераторами, вентиляторами, насосами и т.д. Эти колебания передаются через конструкции локомотива в результате их соприкосновения друг с другом. Причиной возникновения вибраций являются неуравновешенные силовые воздействия.

Виброизоляция – метод снижения вибрации, основанный на ее отражении в устройствах – виброизоляторах. В данном обзоре освещаются статьи, посвященные проблеме виброзащиты железнодорожного транспорта и человека-оператора.



## Источники шума и вибрации

Основными источниками шума на железнодорожном транспорте являются движущие поезда, путевые машины, производственное оборудование.

Интенсивное движение поездов вблизи линий жилой застройки, в черте города, посёлка заметно ухудшает акустический климат населённых пунктов и жилых помещений. Распространённым источником шума, является локомотив. Общий шум дизельного тепловоза на расстоянии 0,5 м от корпуса и аэродинамического шума выхлопа на расстоянии 1м от выхода патрубка достигает 120 дБ.

Источниками интенсивного шума являются локомотивные, вагонные депо.

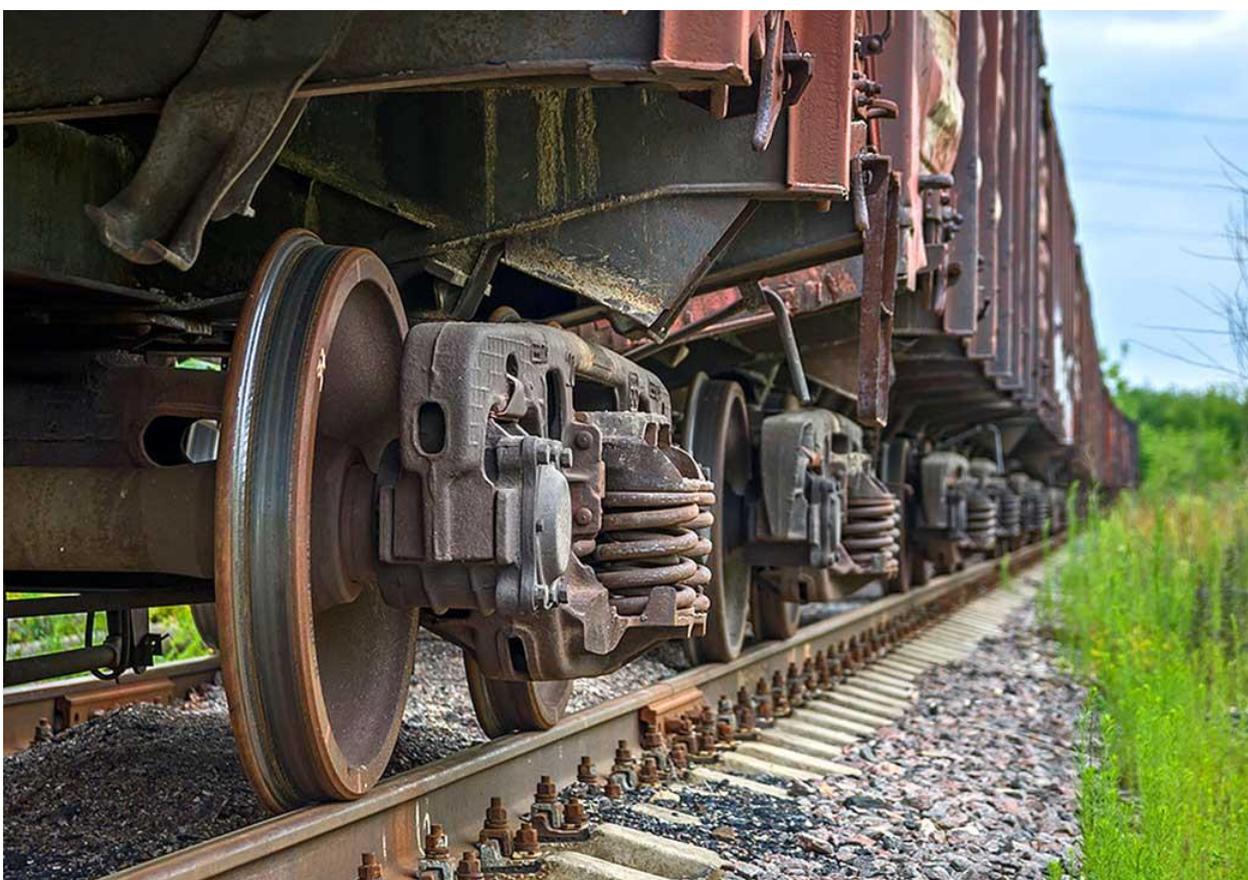
Источниками вибрации на железнодорожном транспорте являются такие технологические процессы как укладка бетонных смесей, производство крупнопанельных конструкций. А также движущиеся поезда, механические колебания, которые они возбуждают. Так при следовании поезда через мост вибрации передаются через его основание, реку и рядом находящиеся объекты.

Всю вибрирующую систему и пути распространения вибрации коллектив авторов описывает в статье «Вибрации на железнодорожном транспорте: источники, влияние на подвижной состав, методы защиты» [12]. Предлагается ряд мероприятий по снижению вибраций подвижного состава, среди которых:

- ликвидация вибрационного процесса путем изменения технологии;
- уменьшение вибрации в источнике ее возникновения;
- устранение резонансных явлений;
- применение упругих резиновых, пружинных или гидравлических амортизаторов при рессорном подвешивании;
- применение резиновых элементов в опорах кузова, обеспечивающих снижение высокочастотных вибраций;

- отвязка кабины локомотива от рамы и машинного отделения, установка кабины на амортизаторы;
- амортизация двигателей и вспомогательных машин;
- применение разнообразных вибропоглощающих мастик для снижения распространения звуковых колебаний ограждающих конструкций (рамы, листовые поверхности);
- применение рациональных угловых соединений: тщательная сборка, балансировка, устранение слишком больших люфтов;
- правильная эксплуатация оборудования и др.

Проектирование виброизоляции заключается в выборе типа и количества упругих изолирующих элементов и в расположении их относительно изолируемого объекта.

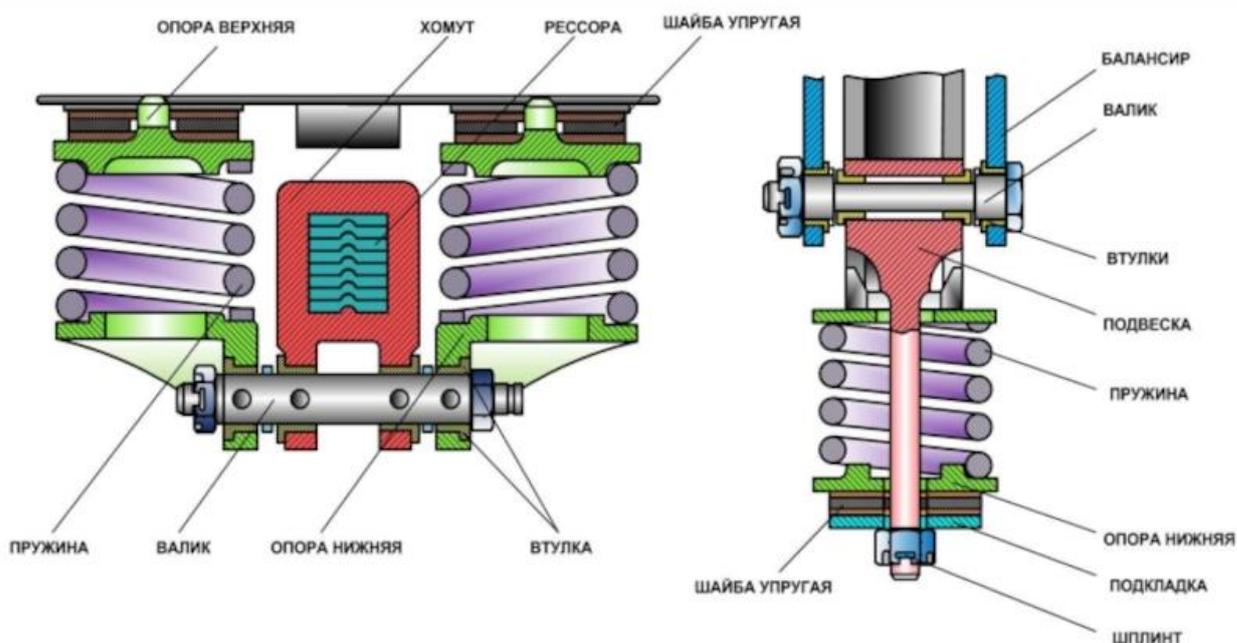


Исследованиям динамических свойств технических объектов посвящена статья «Системный анализ в задачах оценки и формирования динамических состояний технических объектов при вибрационных взаимодействиях элементов структуры» Часть II [3]. Описывается системный подход и технологии системного анализа в задачах динамики объектов транспортного и технологического назначений. Предложена методика введения в системы дополнительных связей и оценки их влияния на динамические состояния объектов; приводятся результаты оценок. Описываются оригинальные формы учета влияния на динамические свойства систем характерных возбуждающих силовых факторов. Получены

аналитические соотношения, отражающие характерные свойства, проявляющиеся при введении дополнительных динамических связей. Приводятся результаты вычислительного моделирования.

Характерные идеи и технические решения по гашению колебаний кузовов пассажирских вагонов описаны в статье «Обзор методов гашения вертикальных изгибных колебаний кузовов современных пассажирских вагонов» [11]. В данной статье анализируются различные методы борьбы с изгибными колебаниями кузовов и знакомятся с разными направлениями развития в этой области. Предлагается увеличить коэффициент демпфирования в буксовой ступени подвешивания, что позволит уменьшить колебания тележки, и кузову будет передаваться меньше возмущающих колебаний.

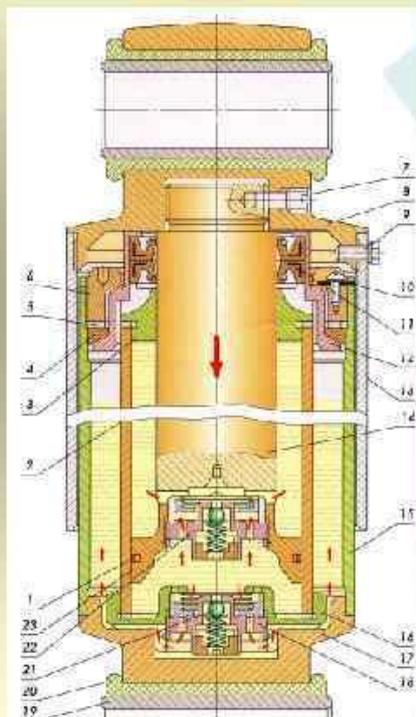
### Рессорное подвешивание челюстной тележки



Рассмотрено применение полуактивного демпфирования одновременно в первичной и вторичной ступенях подвешивания вагона Shinkansen. По первой форме изгибных колебаний применялось полуактивное управление специально изготовленными регулируемыми гидравлическими гасителями колебаний с электромагнитным клапаном в буксовой ступени подвешивания. Для пассивного гашения изгибных колебаний кузова предложено использовать демпфирующий слой из вязкоупругого материала, состоящего из резины и углепластика, который наклеивается на внутреннюю сторону обшивки со стороны пола и крыши вагона при минимальном добавлении

веса. Описан пассивный метод демпфирования изгибных колебаний кузова вагона с помощью гидравлических гасителей колебаний, установленных на продольных балках рамы и кузова.

## Гидравлический гаситель



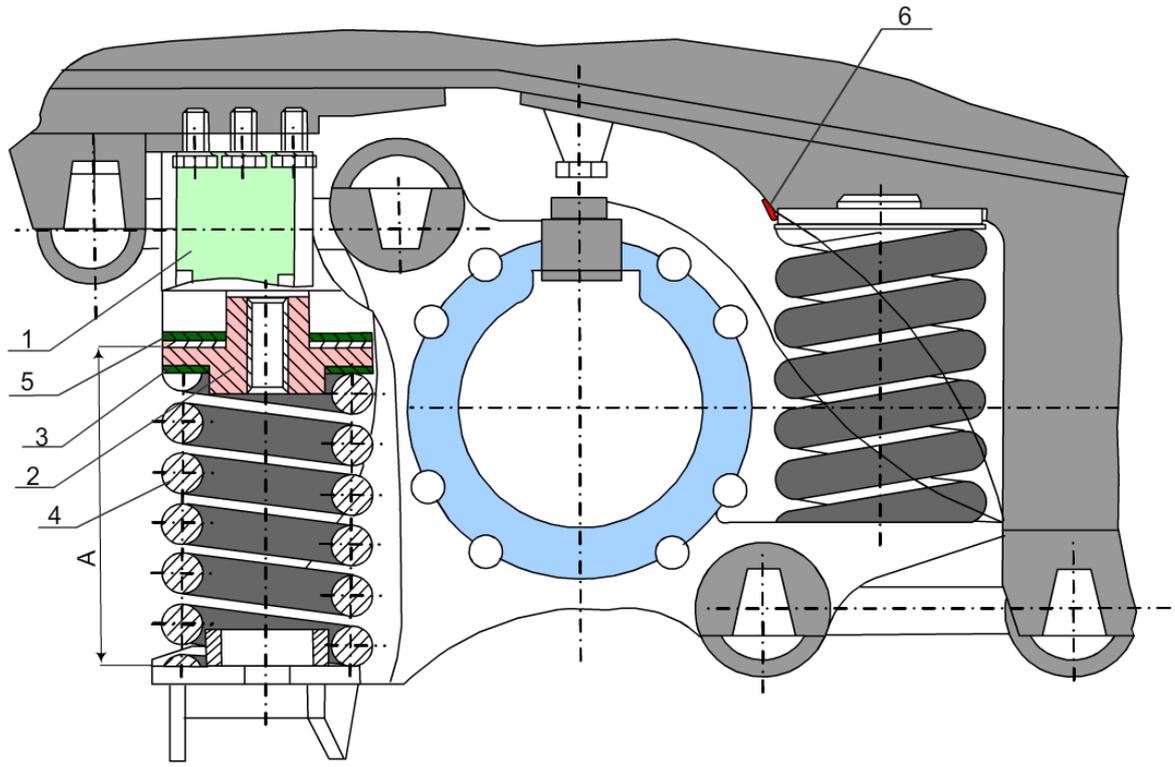
Ход поршня гасителя составляет 190 мм. Гаситель заполнен специальным маслом в количестве 0,9-1 л. Сопротивление гасителя возникает при перетекании масла через дроссельные отверстия в клапанах. Предохранительные шариковые клапаны предназначены для ограничения сопротивления гасителя при чрезмерных скоростях перемещения поршня или при повышении вязкости масла (срабатывает при давлении 50 кг/см<sup>2</sup>).

### Узлы и детали

- |                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| 1 — кольцо поршневое;       | 13 — кожух верхний;          |
| 2 — цилиндр;                | 14 — шток;                   |
| 3 — направляющая втулка;    | 15 — корпус гасителя;        |
| 4 — кольцо резиновое;       | 16 — корпус нижнего клапана; |
| 5 — кольцо;                 | 17 — головка нижняя;         |
| 6 — натяжное кольцо;        | 18 — клапан нижний;          |
| 7 — стопорный винт головки; | 19 — втулка металлическая;   |
| 8 — головка верхняя;        | 20 — втулка резиновая;       |
| 9 — стопорный винт кожуха;  | 21 — шариковый клапан;       |
| 10 — планка стопорная;      | 22 — клапан верхний;         |
| 11 — сальник;               | 23 — поршень;                |
| 12 — корпус сальника;       |                              |

Проблемы вибрационной прочности конструкции вибрационных опор оборудования локомотивов, входящих в них узлов и деталей, объектов железнодорожного транспорта и транспортного машиностроения рассматриваются в статье Картуновой Н.Н. «Совершенствование конструкции вибрационных опор оборудования локомотивов и методов расчета динамических нагрузок» [5]. Описываются способы гашения механических колебаний и повышение эффективности виброизоляции в резонансном режиме. Рекомендуются упрощение конструкции, установка фиксирующих элементов, размещение дополнительных упругих элементов из эластомера, упругодемпфирующих элементов, пружин сжатия. В основе конструкции любого виброизолирующего устройства лежит объект защиты и упругий элемент (пружина, упругий элемент из эластомера, маятниковый подвес, материал МР (металлорезина) и т.п.). Материал МР представляет собой пористую металлическую структуру, получаемую путем холодного прессования заготовки из взаимоперекрещивающихся проволочных спиралей в окончательной по форме и размерам детали. Метод получения МР допускает гибкое управление его свойствами за счет соответствующего выбора материала проволоки, ее диаметра, способа укладки спиралей,

давления прессования и поверхностного покрытия металлами и полимерами. Материал МР имеет высокие демпфирующие свойства, обусловленные внутренним трением и способен длительно противостоять агрессивным средам, высоким и низким температурам, влажности, глубокому вакууму, радиации. Материал обладает пожаростойкостью и пожаробезопасностью. Такие возможности МР предполагают широкие области применения получаемых из него изделий: ударо- виброзащита, термозащита, шумоглушение объектов, фильтровальная, уплотнительная техника и т.п.



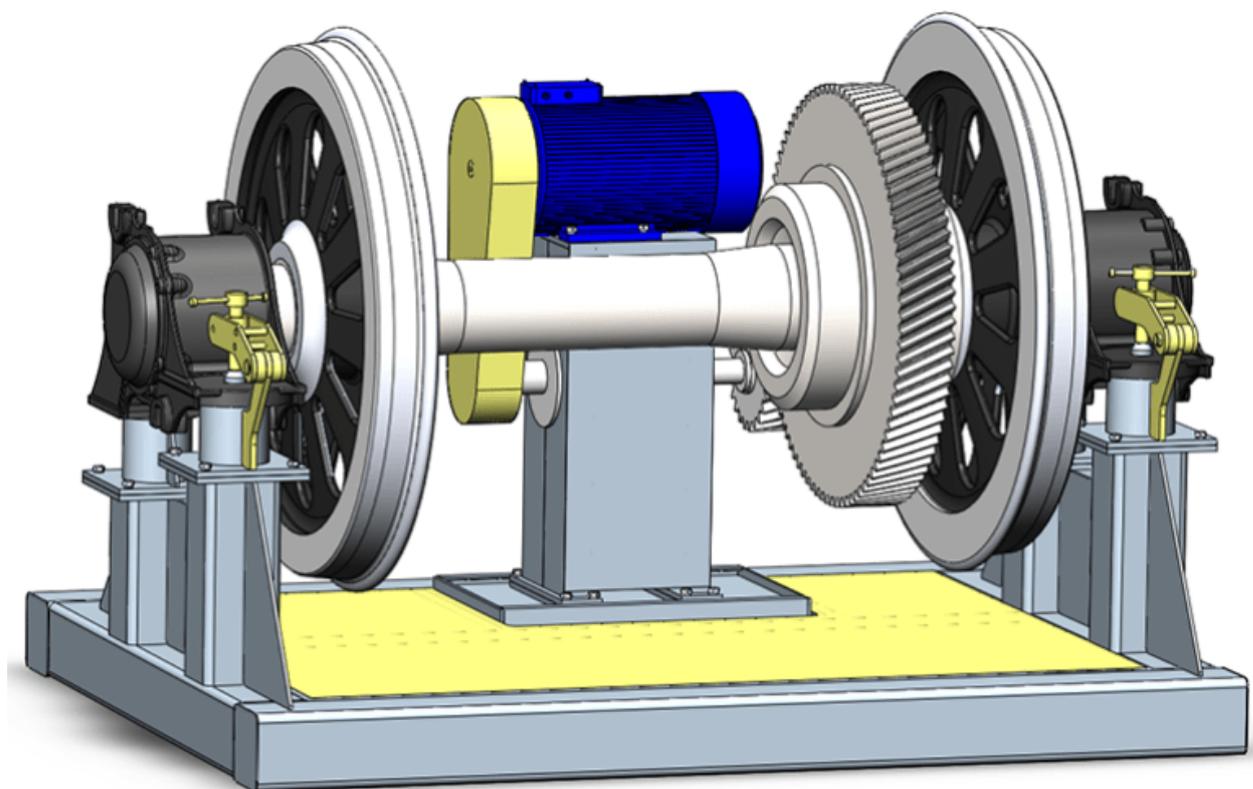
1 - кронштейн; 2 - втулка; 3 - прокладка; 4 - пружина; 5 - прокладка;  
6 - планка

Рисунок - Рессорное подвешивание

Применению упругопористого демпфирующего проволочного материала МР (металлорезина) посвящена статья «Разработка и внедрение виброзащитных технологий на основе материала МР в отечественной локомотивной технике» [2]. Рассматриваются МР-виброизоляторы для дизель-генераторных установок магистральных и маневровых тепловозов, а также система виброзащиты кабины машиниста локомотива ТЭМ-28. Предложенные виброзащитные решения обладают универсальностью и их применение возможно в различных отраслях промышленности.

Необходимо уделять внимание устранению вибрации динамически нагруженных элементов. Износостойкость трибосопряжений, стабильность и качество работы любого устройства зависит от динамики нагружения и демпфирующих свойств подшипниковых узлов. Вопросы диагностирования

в этих узлах возникновения вибрации и методы ее гашения являются источниками повышения долговечности механизмов оборудования. Диагностика подшипниковых узлов проводится с целью оценки точности формы и размеров рабочих и базовых поверхностей при их изготовлении, чтобы установить работоспособность и ресурс подшипниковых узлов. Это дает возможность предотвратить аварийные поломки (трещины, выкрашивание, питтинг колец) и преждевременный выход из строя подшипников.



Определение вибрации в подшипниковых узлах [6]. Авторы, ученые Ростовского государственного университета путей сообщений, рассматривают общую методику исследования вибраций в подшипниках качения, приведен пример математической обработки результатов и намечены пути дальнейших направлений исследований. Причиной возникновения вибрации в подшипниках является нарушение стационарности процесса трения. Повышение уровня вибраций снижает ресурс подшипниковых опор. Решением виброустойчивости трибосистем, является применение полимерных антифрикционных композитов в качестве покрытий рабочей поверхности подшипниковой втулки. Применение полимерных композитов в опорных и уплотнительных трибосистемах представляется перспективной задачей для снижения шума и вибраций при работе самых разных машин и механизмов.

В статье Применение полимерных композитов для снижения шума и вибрации [9] авторы - сотрудники РГУПС - представили схему использования полимерного покрытия на втулке подшипника в нормальном

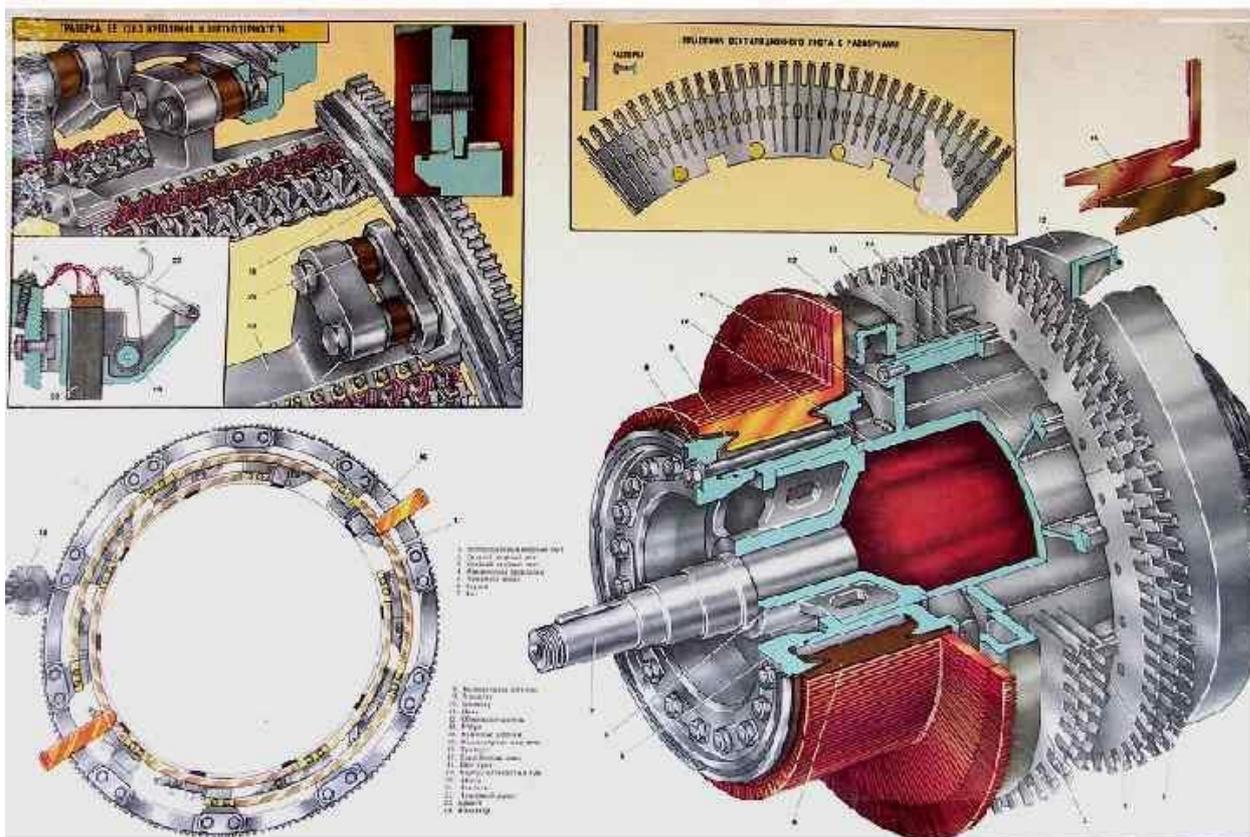
состоянии и под нагрузкой; показали временные диаграммы циклической ползучести при различных амплитудах цикла напряжений.



На основе экспериментальных исследований был сделан вывод: полимерное композиционное самосмазывающееся покрытие обладает значительным объемом диссипативных свойств, способных гасить вибрации и шум, передающийся как на корпус агрегата, так и в окружающую среду.

На сегодняшний день возрастают требования к эксплуатационной надежности транспорта в целом, надежности его агрегатов и оборудования. Прослеживается тенденция роста скоростей и грузоподъемности подвижного состава железнодорожного транспорта, энерговооруженности его энергетических установок. Частотный спектр магнитного шума большинства типов асинхронных тяговых электродвигателей резко прослушивается на фоне шума, возбуждаемого другими источниками – это снижает производительность труда человека и при длительном воздействии приводит к профессиональным заболеваниям. В связи с этим ставится задача создания малошумных и маловибрирующих тяговых электрических машин для железнодорожного транспорта. Вибрация корпуса и отдельных деталей, узлов электрической машины в целом является причиной возникновения звуковых волн, их интенсивность зависит от величины возмущающих сил, упругих свойств материалов, используемых в электрической машине.

Ученые РГУПС в статье «О вибрации и шуме тяговых электрических машин локомотивов» [7] описывают основные методы и средства защиты от шума и вибрации, оценивают эффективность их применения. Представлены практические решения, обеспечивающие снижение шума и вибрации.

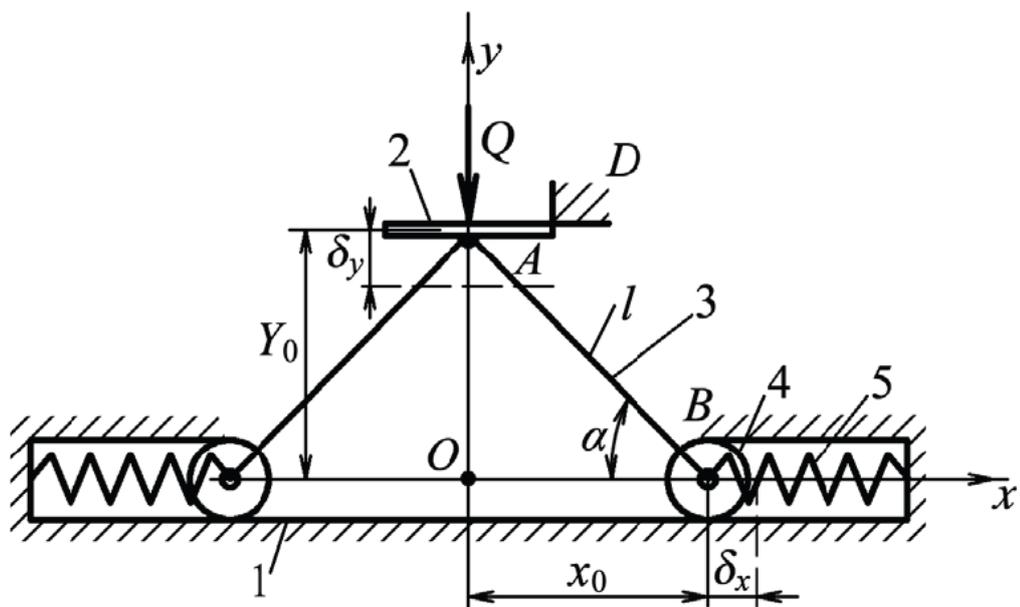


Выполнение любой работы в течение продолжительного времени сопровождается утомлением организма, что проявляется в снижении работоспособности человека и снижении качества работы. Значительное воздействие на утомление наряду с физической и умственной работой оказывает окружающая производственная среда, т.е. условия, в которых протекает его работа. Общая вибрация влияет на нервную систему, сердечно-сосудистую систему, вестибулярный аппарат, обмен веществ. Под воздействием вибрации возникают головные боли, нарушается сон, понижается работоспособность. Человек начинает ощущать вибрацию при колебательной скорости 0,1 м/с, а при колебательной скорости 1 м/с возникают болевые ощущения. Виброизоляция персонала и агрегатов машин является актуальной проблемой, требующей комплексного подхода в ее разрешении.

В статье «Виброизолирующее кресло оператора транспортной машины» [1] приведено технологичное, универсальное техническое решение виброизолирующего кресла оператора транспортной машины.



Предлагаются технические решения системы виброизоляции, отличающиеся конструктивной простотой и имеющие в своем составе упругие элементы с линейной характеристикой жесткости, но с особым расположением к виброперемещениям защищаемого объекта. Источник вибровозбуждения и объект виброзащиты представляются твердыми телами, а доминирующее виброперемещение является одноосным и совершается вдоль некоторой общей оси «X». Представлена расчетная схема опоры.



В целях создания нормативной базы в части оценки комфортабельности пассажиров, выполнена разработка стандарта предприятия СТО РЖД «Услуги на железнодорожном транспорте. Правила оценки уровня комфорта пассажиров в поездах» были проведены исследования, о которых идет речь в статье «Исследования психофизиологической реакции пассажиров скоростных поездов с различным уровнем комфорта» [4].

## Развитие сети скоростных и высокоскоростных поездов в России



Задача исследования – сопоставить показатели уровня комфорта пассажиров, описать воздействие на человека ускорений, сравнить психологические ощущения и физиологические изменения в организме в зависимости от типа подвижного состава и состояния пути. Эксперимент проходил с использованием приборов контроля ЭКГ для четырех групп испытуемых из 11 человек каждая, в составе 6 мужчин и 5 женщин в возрасте 30-55 лет. Дополнительно еще в каждой группе проводили психологическое анкетирование еще 11 пассажиров. Все штатные сотрудники подразделений ОАО «РЖД». При поездках в скоростных поездах «Ласточка» и «Сапсан» анкетлируемые чаще отмечали сонливость и прогрессирование дремотного состояния, а в конце поездки чаще подчеркивали скованность, затекание и онемение мышц ног, неприятные ощущения, связанные с длительным нахождением в вынужденной позе, в отсутствии определенной свободы движений.

Экспериментальные исследования шума и вибрации в кабинах управления кранов на железнодорожном ходу при различных режимах работы показали, что работа машиниста крана подвержена виброакустическому воздействию: повышается утомляемость оператора, снижается надежность работы человека и т.п. Анализ условий труда

машинистов кранов и их ранжирование по наиболее вредным показателям освещается в монографии «Обеспечение виброакустической безопасности операторов путевых дорожно-строительных грузоподъемных машин» [8].

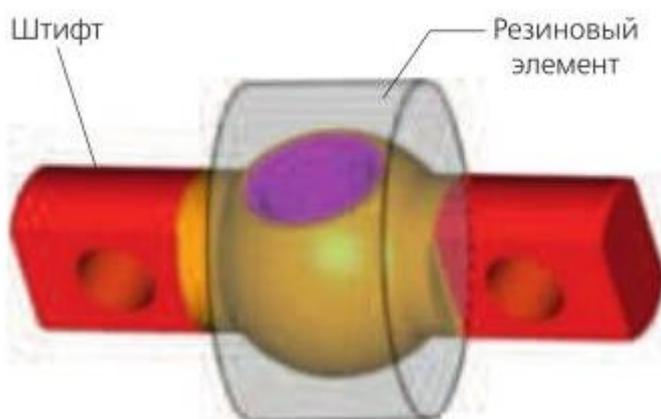
Ученые РГУПС, на основании проведенных исследований в монографии показывают аналитические зависимости спектральных составляющих уровней шума и вибрации. Авторы представляют математические модели виброакустической динамики основных элементов общей акустической системы, предлагают на основе теоретических и экспериментальных исследований методики расчета виброакустических характеристик объектов исследования, которые позволяют при их проектировании определять уровни звукового давления, вибраций и величины их превышения над предельно допустимыми значениями; предлагаются рекомендации по выбору звукопоглощающих материалов, что позволяет снизить долю шума, а также уменьшить вибрацию.



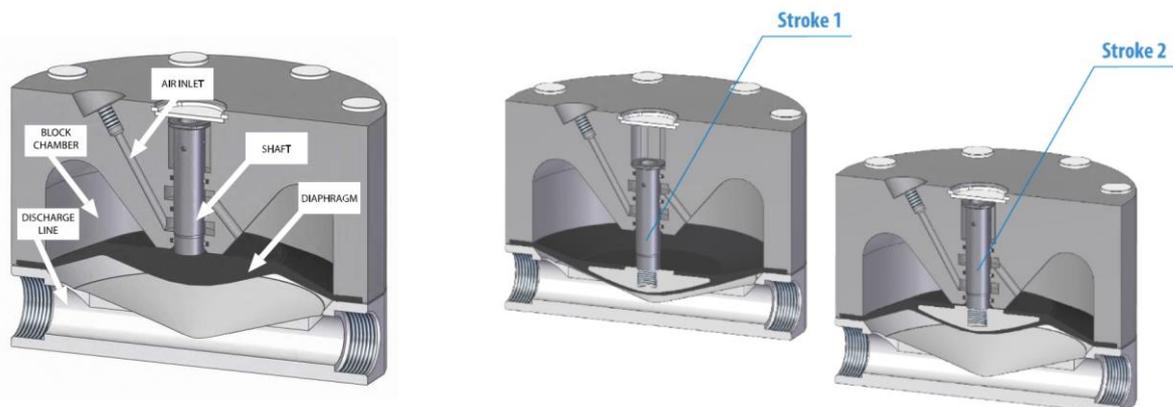
Комфорт поездки на железнодорожном транспорте рассматривается как психологическое и физиологическое восприятие пассажирами обстановки в вагоне поезда и включает большое число факторов, в том числе вибрацию, ускорение, шум, температуру, влажность. Обеспечение безопасности и комфорта для пассажиров – важные цели, над достижением которых активно работают специалисты Научно-исследовательского института железнодорожной техники Японии (RTRI). Основные направления работы института (RTRI) представлены в статье, напечатанной в журнале «Железные дороги мира» «Разработки и исследования RTRI в области подвижного состава» [10]. Специалисты ведут поиск путей снижения уровня

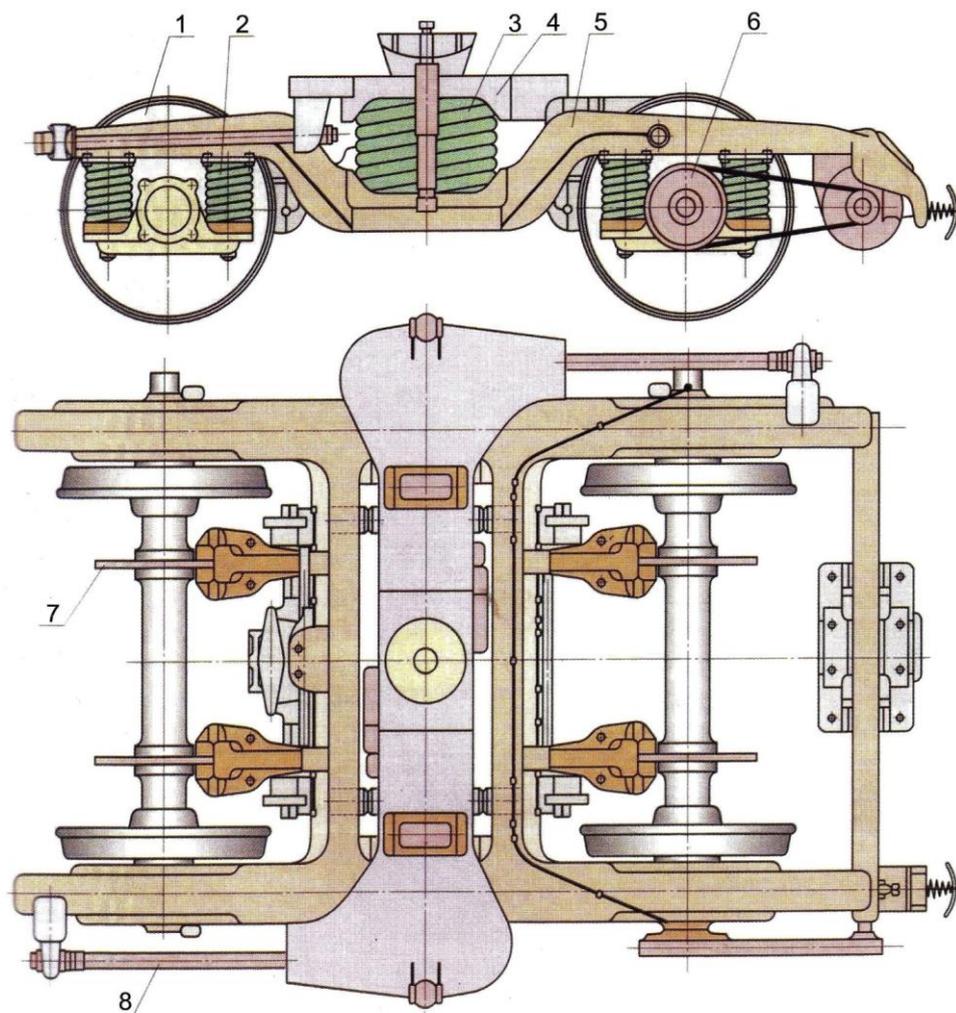
вибрации и уменьшения негативных воздействий наклона кузова подвижного состава на пассажиров. Стремясь достичь повышения уровня комфорта, изучаются разные меры по снижению уровня шума, ведется поиск путей подавления продольной вибрации.

В RTRI проводятся исследования по вибрации кузова вагона, оборудованного системой наклона, и разрабатываются меры по уменьшению вибрации. Для уменьшения упругой вибрации кузова вагона за счет контроля вибрации тележки параллельно пружинам первичного подвешивания может быть установлен вертикальный демпфер. Его использование позволяет подавлять вертикальные колебания, и за счет этого уменьшить упругие колебания кузова. Разрабатывается метод подавления вибраций, в котором используются вертикальные демпферы вторичного подвешивания и вертикальные актюаторы, установленные между тележкой и кузовом в дополнение к вертикальным демпферам системы первичного подвешивания. Для предотвращения передачи вибраций от рамы тележки к кузову вагона предлагается использовать резиновый вкладыш или демпфер виляния, предназначенный для подавления продольных колебаний тележки. Между резиновым элементом и штифтом вкладыша предусмотрен небольшой зазор, что позволяет исключить передачу вибраций.



Системы контроля поперечной вибрации, способствующие повышению комфорта поездки, нашли применение на высокоскоростных поездах сети Синкансен. Для снижения интенсивности колебаний, вызывающих трехмерную деформацию кузова вагона, разработан демпфер активной массы





- |                               |                      |                                |
|-------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| 1 – колесная пара;            | 5 – рама;            | 9 – пятник;                    |
| 2 – буксовое подвешивание;    | 6 – буксовый узел;   | 10 – вкладыш скользуна;        |
| 3 – центральное подвешивание; | 7 – дисковый тормоз; | 11 – регулировочная прокладка; |
| 4 – наддресорный брус;        | 8 – поводок;         | 12 – резиновая прокладка       |

Более простую конструкцию имеет тележка вагона с наклоняемым кузовом, в котором используются пневмопружины. Вагоны данного типа требуют значительного количества сжатого воздуха для устройства пневмоподвешивания. С учетом этих обстоятельств был разработан механизм контроля наклона кузова, имеющий более простую конструкцию. Предложенная конструкция позволяет уменьшить боковое смещение кузова вагона, при этом уровень комфорта поездки не снижается.

В данном обзоре предложены статьи из технических журналов, в которых предлагаются новые идеи и технические решения, которые могут представлять интерес для специалистов, занимающихся совершенствованием конструкций рельсовых экипажей с целью улучшения показателей комфорта на железнодорожном транспорте.

## Список используемой литературы

1. Виброизолирующее кресло оператора транспортной машины / П.Д. Балакин, О.С. Дюндик, И.П. Згонник, А.В. Кривцов. – Текст : электронный // Омский научный вестник. - 2020. - № 1 (169). - С. 5-10. // Public.ru.
2. Давыдов Д.П. Разработка и внедрение виброзащитных технологий на основе материала МР в отечественной локомотивной технике / Д.П. Давыдов, Г.В. Лазуткин. – Текст : электронный // Динамика и виброакустика. - 2019. - Т. 5. - № 4. - С. 21-28. // НЭБ eLIBRARY.
3. Елисеев С.В. Системный анализ в задачах оценки и формирования динамических состояний технических объектов при вибрационных взаимодействиях элементов структуры (часть II). / С.В. Елисеев, И.С. Ситов, Р.С. Большаков. – Текст : электронный // Системы. Методы. Технологии. - 2021. - № 2 (50). - С. 7-14. // НЭБ eLIBRARY.
4. Исследование психофизиологической реакции пассажиров скоростных поездов с различным уровнем комфорта / Е.Ю. Берсенев, В.И. Дубинин, В.М. Ермаков, А.И. Кирпичева. – Текст : электронный // Гигиена и санитария. - 2021. - Т. 100. - № 4. - С. 318-326. // Public.ru.
5. Картунова Н.Н. Совершенствование конструкции вибрационных опор оборудования локомотивов и методов расчета динамических нагрузок / Н.Н. Картунова. – Текст : электронный // Вестник транспорта Поволжья. - 2019. - № 2 (74). - С. 100-105. // НЭБ eLIBRARY.
6. Кохановский, В.А. Определение вибрации в подшипниковых узлах / В. А. Кохановский, Е. В. Наливкина, Е. В. Рязанова. - Текст : непосредственный // Транспорт: наука, образование, производство : сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. Транспорт-2020 / ФГБОУ ВО РГУПС. - Ростов н/Д, 2020. - Т. 1: Технические науки. - С. 246-249. // ЭБ НТБ РГУПС.
7. О вибрации и шуме тяговых электрических машин локомотивов / З. Г. Гиоев, М. А. Басилаиа, А. С. Пивоваров [и др.]. - Текст : непосредственный // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России : сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. ТрансПромЭк-2019, 90-летию РГУПС посвящается / ФГБОУ ВО РГУПС. - Ростов н/Д, 2019. - Т. 1: Технические и естественные науки. - С. 174-178. // ЭБ НТБ РГУПС.
8. Обеспечение виброакустической безопасности операторов путевых дорожно-строительных грузоподъемных машин : монография Текст : непосредственный / ФГБОУ ВО РГУПС. - Ростов н/Д : [б. и.], - 2020. - 102 с. // ЭБ НТБ РГУПС.
9. Применение полимерных композитов для снижения шума и вибрации / Е. В. Наливкина, А. А. Феденко, Н. В. Нихотина, Е. В. Рязанова. - Текст : непосредственный // Транспорт и логистика: пространственно-технологическая синергия развития : сб. науч. тр. IV междунар. науч.-практ. конф. / РГУПС. - Ростов н/Д, 2020. - С. 221-225. // ЭБ НТБ РГУПС.

10. Разработки и исследования RTRI в области подвижного состава / Текст : электронный // Железные дороги мира. - 2021. - № 6. - С. 63-66. // Public.ru.

11. Скачков А.Н. Обзор методов гашения вертикальных изгибных колебаний кузовов современных пассажирских вагонов. / А.Н. Скачков, В.Е. Трифонов, А.В. Зайцев А.В. – Текст : электронный // Проблемы и перспективы развития вагоностроения : сборник научных трудов VIII Всероссийской научно-технической конференции. – Брянский государственный технический университет. - 2019. - С. 166-169. // НЭБ eLIBRARY.

12. Яковлев А.И. Вибрация на железнодорожном транспорте: источники, влияние на подвижной состав, методы защиты. / А.И. Яковлев, Л.В. Виноградова, А.Г. Морозов. – Текст : электронный // Образование - Наука – Производство : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. - 2020. - С. 181-189. // НЭБ eLIBRARY.