

Д. П. Давыдов,
Г. В. Лазуткин

«Самарский национальный
исследовательский университет имени
академика С. П. Королева»
Московское шоссе, д. 34,
г. Самара, Российская Федерация
443086

onill@onill.ru

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ВИБРОЗАЩИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛА МР В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЛОКОМОТИВНОЙ ТЕХНИКЕ

Работа посвящена применению упругопористого демпфированного проволочного материала МР для решения задач обеспечения вибрационной безопасности при создании локомотивной техники нового поколения. Рассматриваются МР-виброизоляторы для дизель-генераторных установок магистральных и маневровых тепловозов, а также система виброзащиты кабины машиниста новейшего локомотива ТЭМ-28.

Ключевые слова: материал МР; виброзащита; тепловоз; дизель; кабина; виброизолятор

1 Введение

В настоящее время при создании тепловозов, электровозов и газотурбовозов нового поколения предъявляются жёсткие требования по нормированию вибрации на рабочих местах и местах размещения локомотивной бригады. Современные требования регламентируются санитарными правилами по проектированию и реконструкции локомотивов СП 2.5.1336-03, в которых величины допускаемых виброускорений на сиденье и на полу у основания кресла снижены более чем в 2 раза по сравнению со стандартом 1981 года ГОСТ 12.2.056-81. Обеспечение необходимых показателей вибрационной безопасности возможно только при всеобъемлющем внедрении на этапе проектирования локомотива современных методов и средств виброзащиты узлов, агрегатов и изделий в целом.

Основными источниками вибрации локомотива являются: железнодорожное полотно, подвижной состав и виброактивные узлы, такие как дизель-генераторные установки, компрессоры и т.п. Снижение динамических воздействий со стороны виброактивных агрегатов, смонтированных на основной раме, как правило, достигается за счёт их подвески на виброгасящих опорах. Для уменьшения вибрации, передающейся от несущих

элементов локомотива, в конструкции креплений кабины предусматриваются специальные вибропоглощающие устройства.

В подавляющем большинстве случаев упругодемпфирующие элементы (УДЭ) виброзащитных устройств выполняют из эластомерных материалов, вследствие их невысокой стоимости и простоты изготовления. Однако они обладают рядом серьёзных недостатков, в том числе связанных со сложными условиями эксплуатации железнодорожной техники:

- низкая демпфирующая способность;
- существенная зависимость упругодемпфирующих свойств от температуры окружающей среды;
- изменение упругодемпфирующих характеристик из-за быстрого старения;
- невысокие показатели надёжности;
- низкие показатели пожаростойкости и пожаробезопасности.

2 Материал МР

Указанные недостатки устраняются, путём применения цельнометаллических виброзащитных устройств на основе упругопористого демпфирующего проволочного материала «Металлическая резина» (МР). Уникальный материал был разработан в 60-е годы прошлого века в отраслевой научно-исследовательской

лаборатории №1 (ОНИЛ-1) «Вибрационная прочность и надёжность авиационных изделий» (onill.ru) Куйбышевского авиационного института (ныне Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва). Освоение серийного производства изделий из МР обеспечило их масштабное применение во многих отраслях промышленности.

Материал МР представляет собой пористую металлическую структуру (рисунок 1), получаемую путём холодного прессования заготовки из взаимоперекрещивающихся проволочных спиралей в окончательные по форме и размерам детали. Метод получения МР допускает гибкое управление его свойствами за счёт соответствующего выбора материала проволоки, её диаметра, способа укладки спиралей, давления прессования и поверхностного покрытия металлами и полимерами.



Рисунок 1. Втулочный УДЭ из материала МР

В отличие от эластомеров, материал МР имеет высокие демпфирующие свойства, обусловленные внутренним трением, и способен длительно противостоять агрессивным средам, высоким и низким температурам, глубокому вакууму, влажности, солёному морскому туману, радиации, плесневым грибкам и другим неблагоприятными внешним воздействиям. Материал обладает высокой пожаростойкостью и пожаробезопасностью. Такие уникальные возможности материала

МР обусловили широкие области применения получаемых из него изделий:

- ударо- виброзащита, термозащита и шумоглушение объектов и их элементов;
- фильтровальная техника с тонкостью очистки от 300 до 10 мкм;
- уплотнительная техника;
- теплопередающие системы и устройства.

К концу 90-х годов складывалась ситуация, когда из-за дороговизны продукции из материала МР основными её потребителями являлись предприятия ВПК, а также авиационного и ракетно-космического профиля. Однако работы, проводимые в ОНИЛ-1, по внедрению технологий автоматизированного производства материала МР и существенное снижение доли ручного труда привели к доступности применения изделий во многих других отраслях промышленности, в том числе транспортном машиностроении.

За последние 15 лет в ОНИЛ-1 накоплен большой опыт создания и успешного внедрения виброзащитных систем в отечественной локомотивной технике с использованием материала МР.

3 МР-виброизоляторы ВВК силовых установок тепловозов 2ТЭ25К и 2ТЭ25А

В частности в 2005 году Самарский университет был привлечён для проектирования упругодемпферных опор дизель-генераторных установок новейших магистральных тепловозов «Пересвет» 2ТЭ25К и «Витязь» 2ТЭ25А, разрабатываемых совместно АО «ВНИКТИ» и АО «УК «БМЗ».

Виброопора ВВК-01 имеет схему двойного упругогистерезисного упора с конусными УДЭ из материала МР (рисунок 2), которая обеспечивает пространственное восприятие статических и динамических нагрузок. Рассеяние энергии колебаний осуществляется посредством большого внутреннего трения в материале МР, а также за счёт пограничного трения с корпусными деталями.

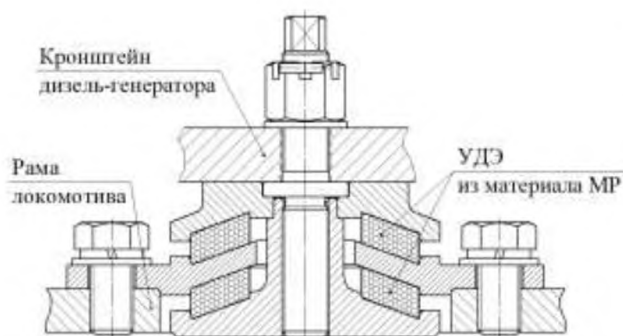


Рисунок 2. Схема МР-виброизолятора ВВК-01

Номинальная грузоподъемность опоры составляет 25 ± 5 кН, резонансная частота – 25 Гц, коэффициент передачи на резонансе 3-4, коэффициент рассеивания – 2, масса – 6,5 кг. УДЭ изготавливаются из нержавеющей проволоки. Ускоренные автономные стендовые динамические испытания виброизолятора в ОНИЛ-1 подтвердили его назначенный ресурс – 20 лет.

Главным результатом внедрения высокодемпфированных виброопор ВВК-01 в конструкцию тепловозов «Пересвет» и «Витязь» стало почти пятикратное снижение уровней виброускорений в местах крепления дизель-генератора к раме локомотива.

В настоящее время виброизоляторы ВВК-01 серийно выпускаются ОНИЛ-1 и более 10 лет безотказно эксплуатируются в сложных климатических условиях, подтверждая высокие показатели надёжности.

На базе удачной конструкции ВВК-01 в 2012 году была разработана модификация – ВВК-03 для энергетической установки газотурбовоза ГТ1-001 [1].

Следует отметить, что модификация ВВК-02 успешно применяется также и в составе упругодемпферных опор технологических трубопроводов нефтеперерабатывающих и химических производств.

4 Низкочастотные МР-виброизоляторы ВЦПД дизель-генератора ДГ-882Л

Начиная с 2016 г. лаборатория занимается разработкой и внедрением низкочастотного (5 Гц) виброизолятора на основе материала

МР большой грузоподъёмности (20 кН) для дизель-генератора ДГ-882Л производства АО «СТМ» в целях реализации программы импортозамещения эластомерных немецких виброопор GmbH Voith.

Для обеспечения комплекса взаимоисключающих технических требований предложена комбинированная модульная конструкция цельнометаллического виброизолятора ВЦПД-01 (рисунок 3) с пружинной разгрузкой УДЭ из МР от 80% веса силовой установки. Конструктивно виброизолятор ВЦПД-01 спроектирован цельнометаллическим по многокомпонентной схеме одностороннего упругогистерезисного упора, содержащего четыре параллельно расположенных пружинных модуля поглощения вибрации с элементами из МР и противоударные демпфирующие устройства – ограничители свободного хода, исключаящие жёсткое соударение деталей при работе.

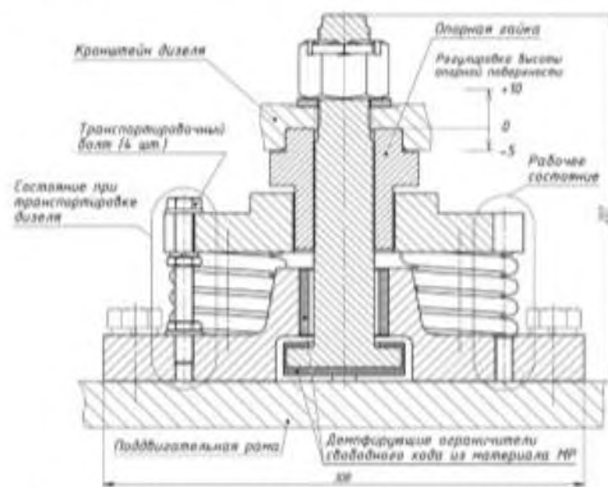


Рисунок 3. Схема МР-виброизолятора ВЦПД-01

Для расчёта параметров создана новейшая математическая модель [2] деформационных характеристик системы с конструкционным гистерезисом в МР и металлическими пружинами различной формы, которая позволила сформировать научные основы конструирования многокомпонентных виброизоляторов, включающих в себя элементы разгрузочных устройств.

Сложнейшей деталью из материала МР по геометрическим пропорциям является центральный демпфирующий противоударный элемент виброизолятора, представляющий собой высокую тонкостенную втулку большого диаметра. Для расчёта характеристик тонкостенных УДЭ из МР разработана обобщённая методика, опубликованная в работе [3], а на оригинальный способ изготовления получены патенты на изобретение в патентных ведомствах Евразийского союза и Соединённых Штатов Америки [4, 5].

Лабораторные испытания подтвердили выполнение жёсткостных и диссипативных требований (рисунок 4), предъявляемых к виброизолирующей опоре силовой установки. Более того за счёт применения материала МР демпфирующая способность виброизолятора была в среднем увеличена в 3.4 раза по сравнению с немецким эластомерным изделием фирмы Voith, тем самым обеспечив высокую эффективность предложенной инновационной виброзащитной технологии для гашения вибрации.

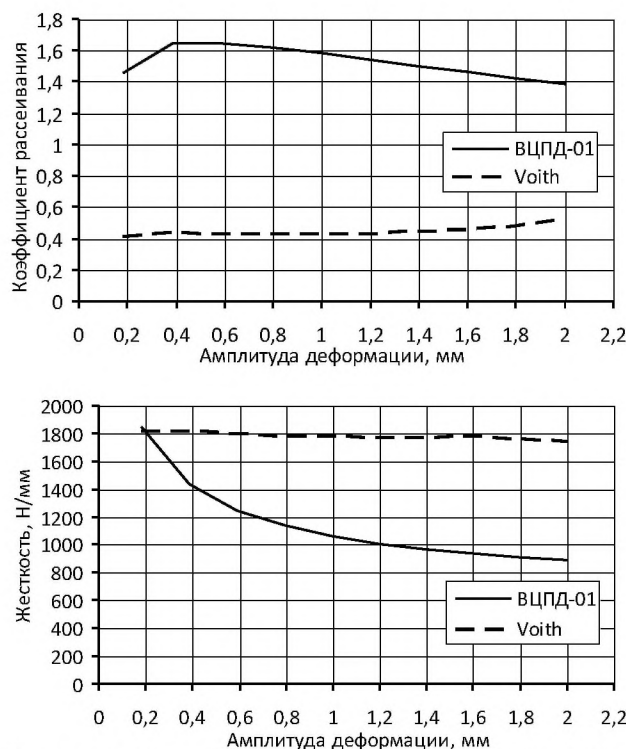


Рисунок 4. Характеристики виброизолятора ВЦПД-01 в сравнении с изделием Voith

Надёжность и высокая эффективность предлагаемых виброзащитных технологий была подтверждена в составе дизель-генератора ДГ-882Л (рисунок 5) при проведении 72 часовых типовых испытаний, по результатам которых в апреле 2017 г. центром технического аудита ОАО «РЖД» выдано разрешение на применение виброизоляторов ВЦПД-01 на серийно выпускаемых силовых установках.



Рисунок 5. Дизель-генератор ДГ-882Л с виброопорами ВЦПД-01

Достигнутые результаты позволили решить стратегически важную задачу импортозамещения зарубежных виброопор на отечественном железнодорожном транспорте, а также укрепить и диверсифицировать уникальное наукоёмкое производство материала МР в ОНИЛ-1 Самарского университета.

С начала работ по данному проекту Самарским университетом изготовлено и поставлено свыше 1500 виброизоляторов ВЦПД-01.

5 Система вибрационной защиты кабины тепловоза ТЭМ-28

В 2015 – 2016 г.г. для проектируемого новейшего маневрового тепловоза ТЭМ-28 производства АО «УК «БМЗ» разработана и внедрена специальная система виброзащиты кабины машиниста, состоящая из устройств гашения вибрации на основе материала МР. Техническое решение заключается в полной виброизоляции обитаемой части тепловоза от несущих конструкций (рисунок 6), по

которым передаётся вибрация и шум от источников.

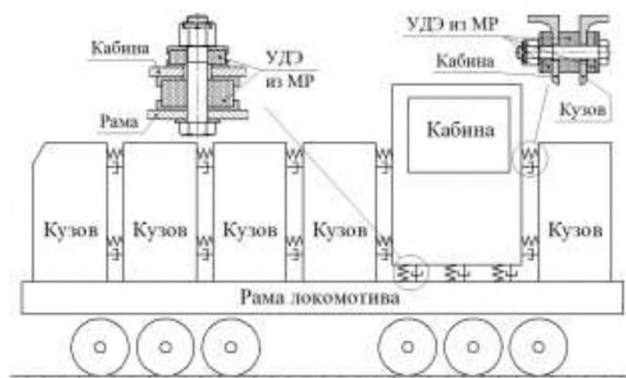


Рисунок 6. Схема системы вибрационной защиты кабины машиниста тепловоза ТЭМ-28

Модуль кабины машиниста соединяется с рамой локомотива посредством 12 штук виброизоляторов (рисунок 7а), выполненных по схеме двустороннего гистерезисного упора на упругодемпфирующих элементах из материала МР, и 8 штук односторонних, показанных на рисунке 7б. Основную статическую нагрузку от кабины массой 3500 кг воспринимает нижний УДЭ, динамическую – оба в равной степени. Поперечные нагрузки воспринимается опорами за счёт сопротивления сдвигу УДЭ, а также с помощью трения по контактным поверхностям.

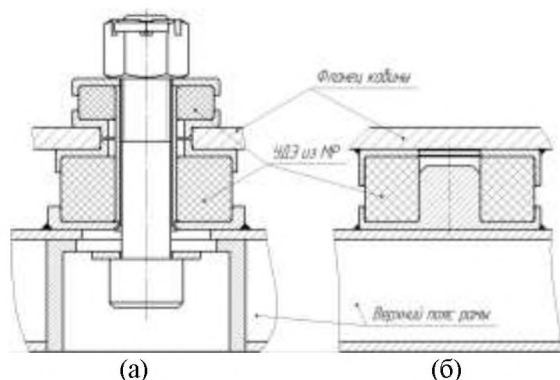


Рисунок 7. МР-опоры кабины тепловоза ТЭМ-28

Для виброизоляции кабины от кузовов введена упругодемпферная развязка в местах креплений, изображённая на рисунке 8. Под головку болта и гайку, а также в межфланцевый зазор помещены демпфирующие шайбы из материала МР, обеспечивающие ослабление механических

связей и гашение вибрации при колебаниях конструкций.

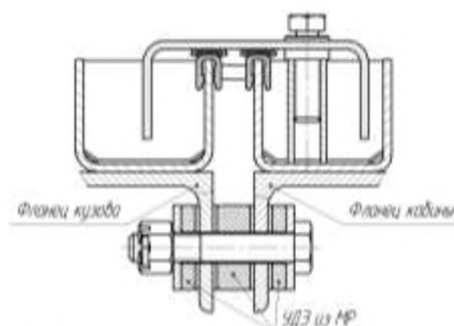


Рисунок 8. Упругодемпферная развязка в соединении кузовов тепловоза ТЭМ-28

Аналогичное решение было применено в поясах межкузовных креплений (рисунок 6) с целью существенного повышения демпфирующей способности конструкции локомотива в целом.

Экспериментальная доводка опытных образцов позволила добиться практически предельных значений (2 – 2.5) по коэффициенту рассеивания для втулочных виброизоляторов из МР в рабочем диапазоне амплитуд виброперемещений 0.2 – 0.3 мм (рисунок 9), тем самым предопределив высокую эффективность предложенной виброзащитной технологии для гашения вибрации в кабине.

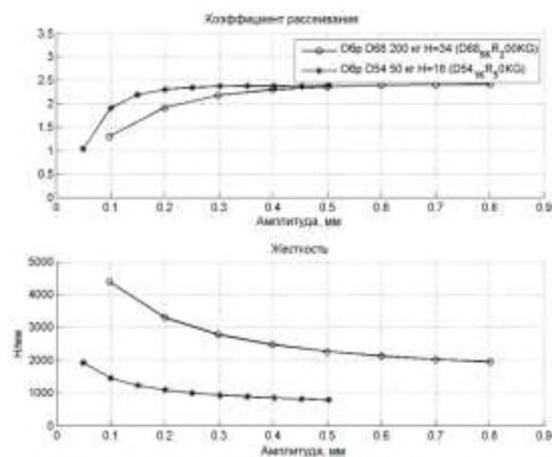


Рисунок 9 – Характеристики УДЭ системы виброзащиты кабины тепловоза ТЭМ-28

Следует отметить, что такого поглощения энергии колебаний невозможно достигнуть в УДЭ из эластомерных материалов, широко применяемых из-за своей дешевизны в транспортном машиностроении.

Коэффициент рассеивания в эластомерах изменяется в пределах 0.01 – 0.6. Поэтому с учётом комплекса предъявляемых к разработке требований (жесткость, компактность, простота и надёжность конструкции) единственным решением проблемы является применение материала МР, не имеющего аналогов, в том числе за рубежом.

Разработанная система виброзащиты в двух экземплярах была изготовлена ОНИЛ-1 и внедрена на тепловозах под номерами ТЭМ28-001 и ТЭМ28-002 АО «УК «БМЗ». Фотографии с монтажа виброизоляторов на объекте показаны на рисунке 10.



Рисунок 10. Монтаж системы виброзащиты кабины в процессе сборки тепловоза ТЭМ-28

В ноябре 2016 года тепловоз ТЭМ-28 (рисунок 11) вместе с УДЭ из МР успешно завершил 300-часовые эксплуатационные испытания и был сертифицирован для применения ОАО «РЖД». Результаты прошедших испытаний подтвердили заявленную высокую эффективность и надёжность системы виброзащиты кабины машиниста.



Рисунок 11. Тепловоз ТЭМ28-001

6 Заключение

Приведённые примеры внедрения и длительной эксплуатации инновационных изделий на основе материала МР подтверждают его большой потенциал и широкие возможности при решении задач борьбы с опасной вибрацией в транспортном машиностроении.

Представленные научно-технические разработки позволили ликвидировать острейший дефицит эффективных демпфирующих устройств отечественного производства как важнейших компонентов систем вибрационной защиты и безопасности локомотивов ТЭМ-28, ТЭМ-14, а также тепловозных дизель-генераторов ДГ-882Л и ДГ900Т. Это достижение имеет стратегическую значимость для обеспечения суверенитета отрасли железнодорожных перевозок России в связи с непрекращающимся режимом экономических санкций.

Предложенные оригинальные виброзащитные решения обладают универсальностью и не имеют ограничений по применению в других отраслях промышленности: в автомобильном транспорте; в газотурбинной технике; в судовых силовых установках; для борьбы с вибрацией трубопроводных технологических систем. Благодаря этому становится реальной перспектива масштабного замещения зарубежных аналогов в изделиях отечественной техники.

Список использованных источников

- [1] Разработка виброизоляторов из МР для снижения вибрации и шума в газотурбовозе и их эквивалентные виброиспытания / А.И. Ермаков, Г.В. Лазуткин, Ф.В. Паровой и др. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2012. – №3(34). – С. 179-184.
- [2] Лазуткин, Г.В. Разработка новых средств виброзащиты на основе материала МР для энергетических систем [Текст] / Г.В. Лазуткин, Д.П. Давыдов, К.В. Бояров // Насосы. Турбины. Системы. – 2017. – № 1 (22). – С. 57-65.

[3] Лазуткин, Г.В. Выбор рациональных параметров втулочных элементов из металлорезины при прессовании [Текст] / Г.В. Лазуткин, Д.П. Давыдов, Т.В. Волкова // Вестник машиностроения. – 2016. – № 7. – С. 37-41.

[4] Евразийский патент 025949, B21F 27/00, B21F 45/00, B21D 53/10. Способ изготовления тонкостенных упругопористых элементов в форме втулок из материала МР [Текст] / Д.П. Давыдов, Г.В. Лазуткин, П.В. Бондарчук и др. – опубл. 28.02.2017. – 2 с.

[5] Pat. US 9610714 United States of America, B23P 17/00, B21D 53/10. Process for the manufacture of thin-walled elastoporous parts in the form of bushing in metal-rubber (MR) [Text] / D.P. Davydov, G.V. Lazutkin, P.V. Bondarchuk etc. – date of patent 04.04.2017. – 10 p.

Danila P. Davydov,
Gennady V. Lazutkin

Samara University
34, Moskovskoe shosse,
Samara, Russian Federation
443086
onil1@onil1.ru

**DEVELOPMENT OF VIBRATION PROTECTIVE
TECHNOLOGIES BASED ON THE MR
(METALLIC RUBBER) MATERIAL FOR RUSSIAN
LOCOMOTIVES**

The article describes the use of the elastic-porous damped wire material MR for solving the problems of ensuring vibration safety when creating locomotives of a new generation. Vibration isolators made of MR material for railway diesel generators and the vibration protection system of the driver's cabin of the TEM-28 locomotive are considered.

Key words: *metallic rubber; mr material; vibration protection; locomotive; diesel engine; cabin; vibration insulator*

References

- [1] Ermakov, A.I., Lazutkin, G.V., Parovai, F.V., Troinikov, A.A. (2012), "Development of vibration insulators made of MR material to reduce vibration and noise in a gas turbine locomotive and their equivalent vibration tests" [Razrabotka vibroizolyatorov iz MR dlya snizheniya vibratsii i shuma v gazoturbovoze i ih ekvivalentnye vibroispytaniya], *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta*, No. 3, pp. 179-184. (in Russian)
- [2] Lazutkin, G.V., Davydov, D.P., Boyarov, K.V. (2017), "Development of new vibration protection based on MR material for energy systems" [Razrabotka novykh sredstv vibrozashchity na osnove materiala MR dlya energeticheskikh sistem], *Nasosy. Turbiny. Sistemy*, No. 1, pp. 57-65. (in Russian)
- [3] Lazutkin, G.V., Davydov, D.P., Volkoka, T.V. (2016), "The selection of rational parameters of sleeve elements made of metallic rubber material during pressing" [Vybór racional'nykh parametrov vtulochnykh elementov iz metallorезины pri pressovanii], *Vestnik mashinostroeniya*, No. 7, pp. 37-41. (in Russian)
- [4] Eurasian patent 025949, B21F 27/00, B21F 45/00. Process for the manufacture of thin-walled elastoporous parts in the form of bushing in metallic rubber [Sposob izgotovleniya tonkostennykh uprugoporistykh elementov v forme vtulok iz materiala MR] / D.P. Davydov, G.V. Lazutkin, P.V. Bondarchuk etc. – date of patent 28.02.2017. – 2 p. (in Russian)
- [5] Pat. US 9610714 United States of America, B23P 17/00, B21D 53/10. Process for the manufacture of thin-walled elastoporous parts in the form of bushing in metal-rubber (MR) [Text] / D.P. Davydov, G.V. Lazutkin, P.V. Bondarchuk etc. – date of patent 04.04.2017. – 10 p.