

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ВИБРОЗАЩИТЫ МАШИН НА ОСНОВЕ УПРУГОДЕМПФИРУЮЩЕГО ПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА

**Е.В. Шахматов**

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва

Московское шоссе, 34,  
г. Самара, Российская Федерация,  
443086

shakhm@ssau.ru

*В статье приводится анализ опыта решения проблемы виброзащиты изделий машиностроения и аэрокосмической техники, основанный на создании и широком использовании виброизоляторов из специального упругодемпфирующего пористого материала. Представлены конкретные примеры реализации разработанных методов и средств виброзащиты, которые базируются на общих свойствах систем конструкционного демпфирования, методах моделирования динамических процессов в изделиях и подходах к управлению динамикой конструкций при вибрационном нагружении.*

**Ключевые слова:** виброзащита машин; виброизоляторы; пористый материал; конструкционное демпфирование; динамика конструкций; теоретические и экспериментальные исследования

### 1 Введение

Одной из наиболее сложных проблем обеспечения надежности машин является проблема виброзащиты элементов конструкций и изделий в целом. Так, более 60% всех отказов энергетических установок носят прочностной характер, из них более 70% - вибрационный. Преобладание вибрационных дефектов характерно и для изделий авиационной и ракетно-космической техники. Этим определяется актуальность и большая практическая значимость разработанной в Самарском университете (КуАИ, СГАУ) [1] методологии виброзащиты конструкций, включающей в себя теоретические основы расчетов и практическую реализацию методов подавления вибрации средствами конструкционного демпфирования.

Предлагаемый подход позволил как на стадии проектирования изделий машиностроения так и в процессе их эксплуатации прогнозировать снижение

уровней вибрации до приемлемых величин и предотвращать потенциальные вибрационные дефекты, разработать

высокоэффективные виброизоляторы на базе оригинального отечественного изобретения - упругодемпфирующего пористого материала МР (металлическая резина, а также пористый металлический аналог резины), сетчатых материалов, тросов, пакетов лент и их комбинации (рисунок 1).

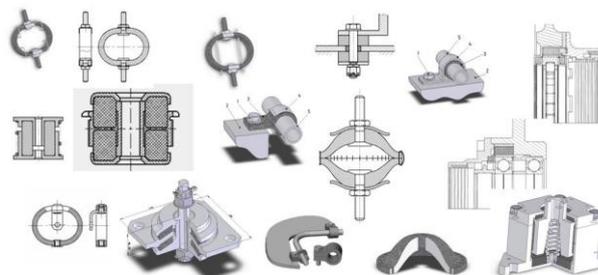


Рисунок 1. Примеры виброизоляторов

### 2 Разработка виброизоляторов

Разработка более 50 лет назад под руководством А.М.Сойфера материала МР [2] положила начало для фундаментальных теоретических и экспериментальных исследований с целью глубокого проникновения в сущность явлений, обеспечивающих виброзащиту в совокупности с рабочими процессами, принципами конструирования, технологией изготовления и обеспечения высоких

эксплуатационных характеристик изделий в течение жизненного цикла.

В настоящее время создана уникальная теоретическая и экспериментальная база для моделирования испытаний и серийного производства широкой номенклатуры виброизоляторов (рисунок 2). Эффективность виброизоляторов подтверждается положительным опытом их использования при доводке и эксплуатации двигателей семейства "НК" (НК-8, НК-16СТ, НК-25, НК-32, НК-86, НК-144 и др.), систем виброзащиты элементов ЖРД РД-170, РД-120, РД-0120, маршевых и управляющих ЖРД "БУРАНА", космических комплексов "МИР", "САЛЮТ", "СОЮЗ" (рисунок 3), силовых установок отечественных тепловозов ТЭМ-1М, «Пересвет», успешным внедрением средств виброзащиты и демпфирования колебаний различных объектов на нефтеперерабатывающих предприятиях, на подвижных путеизмерительных станциях железных дорог.

Значительный вклад в эти разработки внесли А.И. Белоусов, В.Н. Бузицкий, Г.В. Лазуткин, Д.Е. Чегодаев [3]. В настоящее время это научное направление активно развивает А.И. Ермаков [4].

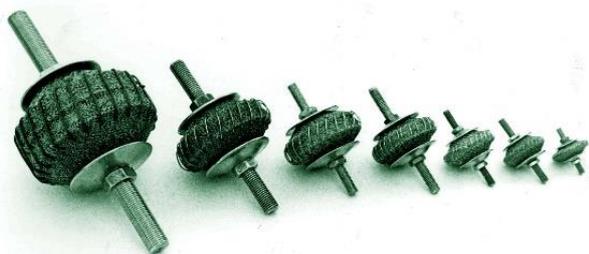


Рисунок 2. Виброизоляторы «двойной колокольчик»

Разработанные методы и средства виброзащиты базируются на выявленных общих свойствах систем конструкционного демпфирования, полученных в ходе многолетних исследований.

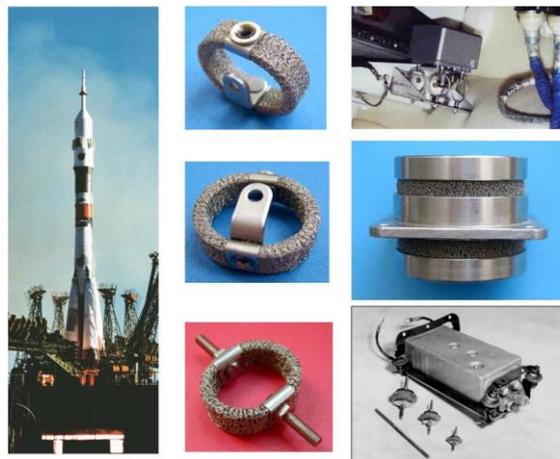


Рисунок 3. Виброизоляторы аэрокосмического назначения: кольцевого типа, тросовый, втулочный

На основе системного подхода к изучению упругогистерезисных свойств разработаны классификация систем конструкционного демпфирования (СКД) и основные принципы их исследования. Выделены наиболее важные группы по рабочим функциям, распределению стока рассеянной энергии, характеру связей контактирующих элементов и т.п. Это позволило с единых позиций рассматривать процессы, протекающие в разных группах виброзащитных систем с упругодемпфирующими элементами из материала МР, сеток, тросов, пакетов лент, разработать оптимальные конструкции виброизоляторов и демпферов и рекомендации по их использованию.

Созданные численные и аналитические методы позволили изучить поведение виброзащитной системы (ВС) с системой конструкционного демпфирования (СКД) при гармоническом, ударном и случайном нагружениях с одновременным воздействием линейных перегрузок, характерных для изделий транспортного машиностроения, авиационной и ракетно-космической техники (АиРКТ). Все это обеспечило создание метода, который решает одновременно проблему оптимального проектирования ВС и технологии изготовления нужных типоразмеров виброизоляторов и демпферов.

На основе этих работ осуществлено дальнейшее обобщение - разработана теория деформирования высокодемпфированного материала МР и геометрически сложных изделий из него, а также из сеток, тросов, многослойных пакетов при пространственном деформировании совместно с защищаемыми объектами. Создана теория гистерезиса механических систем, являющаяся вкладом в современные научные направления по моделированию динамических процессов в изделиях и их элементах, по управлению динамикой конструкций при вибрационном и ударном нагружениях.

Фундаментальные исследования по выявлению общих свойств СКД и физическое моделирование позволили разработать новые технологии материала МР, обладающего улучшенными свойствами, модульные ряды виброизоляторов с различными резонансными частотами. Эти виброизоляторы (ДКУ, ВВ, ВС, АМГ, АК, ВВК и др. типов) нашли широкое применение в ВС изделий машиностроения, АиРКТ. На виброизоляторы из МР создана комплексная конструкторско-технологическая документация и ОСТы, по которым в СГАУ изготавливаются средства виброзащиты, широко используемые в ракетно-космической технике, в авиации для виброизоляции трубопроводов, оптических систем (ПО "Красногорский завод"), подвески агрегатов зажигания, лопаток, регулируемых сопел ГТД семейства "НК", радиоэлектронного оборудования (МНИИРС, г. Москва) и др. (рисунок 4).

Виброизоляторы из МР применяются более чем 100 предприятиями России и СНГ, в том числе НПЦ ИНФОТРАНС, КЗ Ремпутьмаш, НЦ «Путеец» (рисунок 5).



Рисунок 4. Виброизоляторы авиационного назначения: демпфированные зажимы для трубопроводов, втулочного типа



Рисунок 5. Виброизоляторы изделий машиностроения: большой грузоподъёмности для тепловозов, виброизоляторы бортовых ЭВМ путевых машин, виброизоляторы приборов

Таким образом, созданные на основе многослойных высокодемпфированных материалов модульные ряды виброизоляторов решают проблему виброзащиты уникальных отечественных изделий и способствуют повышению их технического совершенства и надежности.

Опыт использования демпферов показал, что при плановых ремонтах затраты сокращаются в 2...10 раз, их можно реализовать в штатной или доработанной конструкции благодаря малым габаритам демпфирующих элементов на основе материала МР, троса, слоистых демпфирующих покрытий и т.д.

### 3 Заключение

Таким образом, использование демпфирующих элементов повышает вибрационную надежность конструкций и

сопровождается разработкой и внедрением новых ресурсосберегающих технологий.

Использование виброзащитных свойств материала МР позволяет решать и другие актуальные проблемы АиРКТ.

Разработанное противоударное устройство разделяемых частей ракетно-космической техники (РКТ) не только снижает ударное воздействие на изделие в 20...25 раз, но, благодаря уникальным свойствам МР, фильтрует газ улавливает и полностью удерживает осколки для предотвращения загрязнения окружающей среды и повреждения систем, оптики.

Таким образом, применение материала МР способствует решению экологических проблем окружающей среды и космоса.

Широко используются демпфированные уплотнительные кольца с МР, заключенным в металлическую или фторопластовую оболочку. Они серийно изготавливаются Рыбинским моторостроительным заводом.

В отечественной промышленности проблема утечек через стыки сопловых аппаратов и камер сгорания при создании ГТД с высокими параметрами термодинамического цикла была решена использованием в турбинах уплотнителей из материала МР, пропитанного органосиликатным наполнителем. Они применяются на всех двигателях семейства "НК" и ряде других изделий. Благодаря повышенной упругости МР и созданию технологии изготовления длинных (до 3 м) уплотнительных элементов обеспечено внедрение ресурсосберегающей технологии - уплотнители укладываются в полученные литьем пазы без их обработки.

Применение МР в качестве катализаторов ЖРД малой тяги, например, космического корабля "Союз", обеспечивает высокие показатели рабочего процесса и отстройку от автоколебаний в системах.

Для проведения экспериментальных исследований средств виброзащиты создана уникальная экспериментальная база из натуральных и модельных испытательных стендов и измерительных комплексов.

## Список использованных источников

- [1] КуАИ-СГАУ. 1942-2012. – Самара: СГАУ: Издательство «Учебная литература, 2012. – 416 с.
- [2] А.М. Сойфер, В.Н. Бузицкий, В.А. Першин. Способ изготовления нетканного материала «МР» из металлической проволоки. Авторское свидетельство на изобретение № 183174. Опубликовано 17.06.1966. Бюллетень № 13.
- [3] Чегодаев Д.Е., Пономарёв Ю.К. Демпфирование. – Самара: СГАУ, 1997. – 334 с.
- [4] Ермаков А.И., Лазуткин Г.В., Паровой Ф.В. и др. Упругодемпфирующие и динамические характеристики виброизоляторов из проволочных материалов различных типов // Вестник СГАУ. – 2014. - №5, часть 1. – С.54-61.

**METHODS AND MEANS OF MACHINERY VIBRATION PROTECTION BASED ON POROUS ELASTIC DAMPING MATERIALS**

**Evgenii Shakhmatov**

Samara National Research University  
34, MOSKOVSKOESHOSSE,  
SAMARA,  
443086, RUSSIAN FEDERATION

shakhm@ssau.ru

*The article analyses vibration protection solutions based on the development and wide usage of porous elastic damping isolators and applied for mechanical systems and aerospace engineering products. The paper includes case studies of the implementation of developed vibration protection methods and means. They are grounded on the general properties of structural damping systems, methods for modelling dynamic processes in products and approaches to controlling the structural dynamics under the vibration loading.*

**Keywords:** *machinery vibration protection; vibration isolators; porous material; structural damping; structural dynamics; theoretical and experimental research*

## References

- [1] KuAI-SSAU. 1942-2012. – Samara: SSAU: Izdatelstvo Uchebnaia Literatura, 2012. – 416 pages.
- [2] Soifer, A.M., Buzitskii, V.N., Pershin, V.A. Method of manufacturing nonwoven metal rubber material from metal wire. Inventor's certificate no. 183174. Published on 17.06.1966. Official Gazette no. 13.
- [3] Chegodaev, D.E., Ponomarev, Iu.K. Damping. – Samara: SSAU, 1997. – 334 pages.
- [4] Ermakov, A.I., Lazutkin, G.V., Parovai, F.V. et al. Elastic damping and dynamic characteristics of vibration isolators made of wire materials of different types // VESTNIK of the Samara State Aerospace University. – 2014. – No. 5, part 1. – pp. 54-61.