

УДК 62-26

## ОБЗОР СВОЙСТВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ УПРУГОДЕМПФИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ПРЕССОВАННОЙ ПРОВОЛОКИ

**Лукин Вадим Васильевич,**

студент-магистрант Филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова" в г. Северодвинске Архангельской области, lukin.v.v@edu.narfu.ru

### Аннотация

Борьба с шумом и вибрацией судовых энергетических установок и иных механизмов является весьма актуальной проблемой судостроения и ведется в настоящее время на всех этапах от проектирования до постройки судов. В этом направлении особое место занимают разработки перспективных амортизирующих конструкции, основными характеристиками которых являются улучшенные жесткостные и диссипативные свойства. Ярким представителем, позволяющим улучшить характеристики, является цельнометаллический упругодемпфирующий элемент (далее - УДЭ) из прессованной проволоки.

**Ключевые слова:** жесткость, амплитуда деформации виброизолятора ( $a$ ); частота ( $f$ ), Гц; эффективность, коэффициент рассеивания энергии ( $\Psi$ ); металлорезина (МР); упругодемпфирующий элемент из прессованной проволоки (УДЭ).

## OVERVIEW OF THE PROPERTIES AND PROSPECTS OF USING OF VIBRATION ISOLATORS BASED ON ELASTIC DAMPING ELEMENTS MADE OF PRESSED WIRE

**Vadim V. Lukin,**

master's student of the Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov" in Severodvinsk, Arkhangelsk region, lukin.v.v@edu.narfu.ru

### ABSTRACT

The struggle against noise and vibration of ship power plants and other mechanisms is a very urgent problem of shipbuilding and is currently being conducted at all stages from design to construction of ships. In this direction, a special place is occupied by the development of promising damping structures, the main characteristics of which are improved stiffness and dissipative properties. A striking representative that allows to improve the characteristics is an all-metal elastic damping element (hereinafter - EDE) made of pressed wire.

**Keywords:** stiffness, amplitude of vibration isolator deformation (a); frequency (f), Hz; efficiency, energy dissipation coefficient ( $\Psi$ ); metal rubber (MR); elastic damping element made of pressed wire (EDE).

Отечественный и зарубежный опыт создания новых образцов техники свидетельствует о том, что абсолютно безопасной техники не бывает, а ее эксплуатация всегда связана с вероятностью возникновения аварийных ситуаций, во многих случаях обусловленных вибрацией. В этом отношении суда и корабли являются наиболее сложными и потенциально опасными объектами. Вибрация и шум не только снижают надежность систем и механизмов, но и приводят к истощению нервной системы личного состава, способствуют утомляемости и ошибочным действиям особенно в аварийных ситуациях.

Полностью исключить вредное воздействие вибрации на человека, технику и окружающую среду невозможно, но разработать комплекс методов и средств защиты от вибрации и шума, как людей, так и машин - возможно.

Традиционные материалы к настоящему времени практически достигли предела своих эксплуатационных свойств, так как относительно быстрое старение резины, невозможность ее использования в условиях высоких температур и в агрессивных средах, ограничивают области применения резинометаллических средств борьбы с шумом и вибрацией.

Один из возможных вариантов решения проблемы - использование цельнометаллических упругодемпфирующих элементов (далее - УДЭ) из прессованной проволоки. Такие элементы обладают высокими амортизирующими свойствами, высокой химической и коррозионной стойкостью, работают в температурном диапазоне от минус 900 до плюс 4000 градусов Цельсия, могут иметь любую форму и размеры.

Настоящая статья является обзорной на тему исследований упругодемпфирующих элементов из прессованной проволоки для разработки приемлемых для судовых условий методов и средств эффективного гашения колебаний внутреннего оборудования кораблей.

#### 1 Резиновые и металлические упругодемпфирующие элементы.

Основными элементами большинства конструкций противоударных демпферов, различных эластичных креплений, виброизоляторов и вибропоглотителей являются резиновые элементы. Резиновые элементы требуют существенных ограничений по предельным статическим и динамическим нагрузкам. Относительно быстрое старение резины, невозможность ее использования в условиях высоких температур и в агрессивных средах (в том числе в условиях ионизирующего излучения) ограничивают области применения конструкций, содержащих резиновые элементы. Поэтому уже в семидесятых годах некоторые зарубежные фирмы стали активно искать альтернативную замену резиновым элементам. Это в первую очередь коснулось виброизолирующих конструкций.

Решение проблемы перехода от резинометаллических виброизоляторов к цельнометаллическим предложила французская фирма «Vibrachoc», разработавшая так называемые металлотканые упругодемпфирующие элементы. Основным упругим элементом в цельнометаллических виброизолирующих конструкциях является металлотканый упругодемпфирующий элемент из стальной нержавеющей ультратонкой проволоки, которую ткнут, рифлят и сжимают под высоким давлением. Упругодемпфирующие элементы из прессованной проволоки обладают высокими виброизолирующими свойствами и механической прочностью, высокой химической

стойкостью к нефтепродуктам и различным агрессивным средам, практически не изнашиваются и не подвержены старению.[5]

Форма упругодемпфирующих элементов произвольная: коническая, цилиндрическая, кубическая и т.д. Для изготовления таких элементов используется в основном стальная нержавеющая хромоникелевая проволока марок 12Х18Н10Т, 36НХТЮ, 36НХТЮМ, 40КХНМ, БрКМц 3-1, V-2А, однако возможно использование проволоки всех других марок, обладающих упругими свойствами, например, проволоки из бериллиевой бронзы.

Механические свойства нержавеющей стальной проволоки допускают удельные статические нагрузки на упругодемпфирующие элементы до 7МПа и динамические нагрузки до 50 МПа. В особых случаях могут восприниматься удельные статические и динамические нагрузки, достигающие соответственно 15 и 70 МПа.

Упругие и демпфирующие свойства элементов из прессованной нержавеющей проволоки марки V-2А остаются практически неизменными в диапазоне температур -900С до +2500С; эти средства виброизоляции не подвержены старению, а их разрушение вследствие длительной изгибной нагрузки невозможно, поэтому они обладают практически неограниченным сроком службы. Это подтверждается опытом эксплуатации советских судов и судов иностранной постройки, на которых уже более 30 лет надежно и эффективно работают виброизолирующие конструкции с металлоткаными элементами из нержавеющей проволоки V-2А.

Диссипативные потери колебательной энергии в упругодемпфирующих элементах эквивалентны потерям в резиновых элементах и достигают 15-20%. Такая высокая степень колебательной энергии обусловлена трением в многочисленных контактах витков проволоки. Теплота трения отводится к окружающей среде и рассеивается в ней. Это происходит благодаря так называемому насосному эффекту и вследствие хорошей теплопроводности материала упругодемпфирующего элемента.

В этом значительное преимущество элементов из прессованной проволоки над резиновыми, у которых вследствие медленного отвода тепла происходит разогрев резинового элемента, что ведет к существенному изменению динамических свойств, ускоренному старению и разрушению резиновых элементов.[2]

Благодаря своей компактности, надежности, практически неограниченному сроку службы, широкому диапазону нагрузок и другим положительным качествам проволочные упругодемпфирующие элементы в ряде областей техники полностью заменили сравнительно недолговечные резиновые элементы. Так уже в 1975 году виброизоляторы с металлоткаными элементами использовались 80 судостроительными фирмами в 13 странах мира. Основными фирмами, специализирующимися на выпуске цельнометаллических средств борьбы с шумом и вибрацией являются западноевропейские фирмы Vibrachoc (Франция) и Schwingungstechnik GmbH und Co KG (ФРГ). В Японии разработан способ изготовления таких элементов из мелкой металлической сетки, которую выравнивают, затем придают волнистую поверхность, сворачивают в рулон и прессуют в прессформах до заданной пористости.

В настоящее время зарубежные фирмы серийно выпускают цельнометаллические виброизоляторы, демпферы, ограничители перемещений. Кроме того, разрабатываются эластичные фундаменты для судов, а также крепления для выхлопных трактов, звукоизолирующие устройства, ударобезопасные подставки для ламп и прожекторов. Фирмы уже много лет ставят своей целью разработку новых конструкций, чтобы занять высокое положение в области вибротехники.

Как показывает зарубежная практика, экологически чистые цельнометаллические средства борьбы с шумом и вибрацией нашли широкое применение в авиации, космонавтике, судостроении, атомных электростанциях и других областях техники.[6]

В нашей стране цельнометаллические средства борьбы с шумом и вибрацией широкого распространения пока не получили, хотя определенный опыт создания таких средств на базе материала МР, разработанного в Куйбышевском авиационном институте имеется, а ряд предприятий освоили серийный выпуск цельнометаллических виброизоляторов на базе проволочных упругодемпфирующих элементов из материала МР.

2. Сравнение российских и зарубежных виброизоляторов из прессованной проволоки.

В 60-х годах прошлого века приблизительно одновременно и независимо друг от друга в СССР и Германии были разработаны два уникальных по своим свойствам материала. В Куйбышевском авиационном институте (ныне Самарский государственный аэрокосмический университет – СГАУ) был создан нетканый проволочный материал МР (металлорезина), в Германии – тканый проволочный материал, получивший короткое название “spring cushion” (пружинная подушка).

Благодаря высокому уровню демпфирования, в десятки раз превышающему рассеяние энергии в металлах и полимерах, высокую прочность, способности работать в условиях высокой и низкой температуры, в агрессивной среде и вакууме, на основе материала МР в КуАИ СГАУ создан комплекс уникальных виброизоляторов и демпферов, с помощью которых в СССР, а, впоследствии, в России решены вибрационные проблемы на космических кораблях “Союз”, “Энергия”, “Буран”, авиационных двигателях большинства отечественных авиаконструкторов, на шести плавающих электростанциях “Северное сияние” с газотурбогенераторами ГТГ 12, на новых магистральных тепловозах “Пересвет” и “Витязь” серийно выпускаемых Брянским машиностроительным заводом.

Материал МР представляет собой пористую металлическую структуру, получаемую путем холодного прессования заготовки из хаотически уложенной проволочной спирали в детали требуемых форм и размеров. В качестве исходного материала для изготовления МР применяется тонкая металлическая проволока различных марок. Марка проволоки определяется условиями работы детали из материала МР: температурным режимом, наличием агрессивной среды, характером приложения нагрузок. В условиях эксплуатации, исключающих коррозию, и при работе в температурном режиме окружающей среды (213...333 К) обычно применяется проволока марок 35ХГСА, 50ХФА и пр., при высоких температурах и агрессивных средах – из аустенитных нержавеющей сталей типа 11Х18Н10Т, ЭИ708, ЭП322. Диаметр используемой проволоки определяется размерами изготавливаемой детали, требованиями к ее механическим (прочностным) свойствам. В большинстве случаев используется проволока диаметром от 0,03 до 0,3 мм.[3]

Процесс навивания спирали осуществляется пластическим деформированием проволоки на вращающемся керне при обкатывании его роликом на специальных станках для навивки спирали. Диаметр спирали определяет упругие и демпфирующие свойства элемента и лежит практически в пределах от 0,2 до 2,0 мм. После навивания спираль растягивается до шага, равного ее диаметру, и укладывается равномерным слоем в ковер. После этого ковер сворачивается в заготовку упругодемпфирующего элемента, как правило, втулочного типа.

Прессование заготовок упругодемпфирующего элемента происходит в пресс формах простейшего вида, состоящих из корпуса 1 с отверстием, в которое с двух сторон устанавливаются пуансоны 2, между которыми закладывается заготовка упругодемпфирующего элемента (рисунок 1.1).

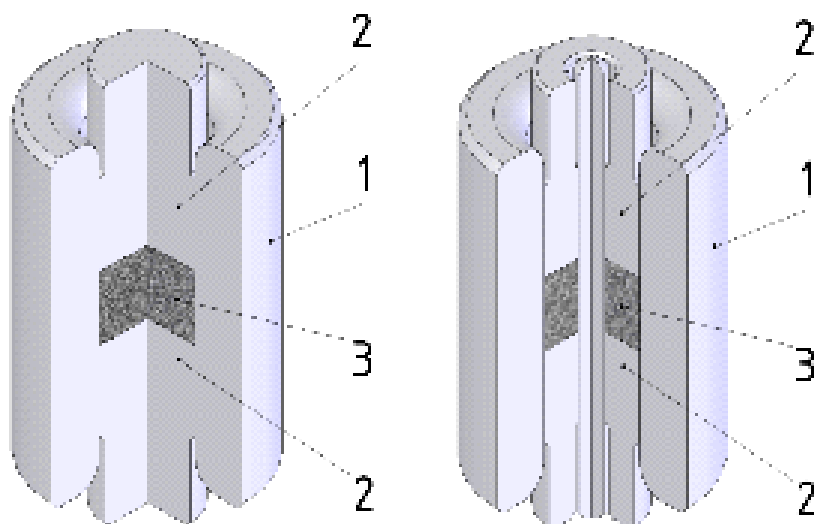


Рисунок 1.1 - Процесс прессования упругодемпфирующих элементов

Производимый немецкой фирмой “Stop Choc” тканый проволочный материал “spring cushion” применяется в США, Германии, Англии, Франции, Италии, Японии и других странах. Заготовкой для него является тканая проволочная структура, получаемая на специальных ткацких станках в виде плетеного чулка (рисунок 1.2).

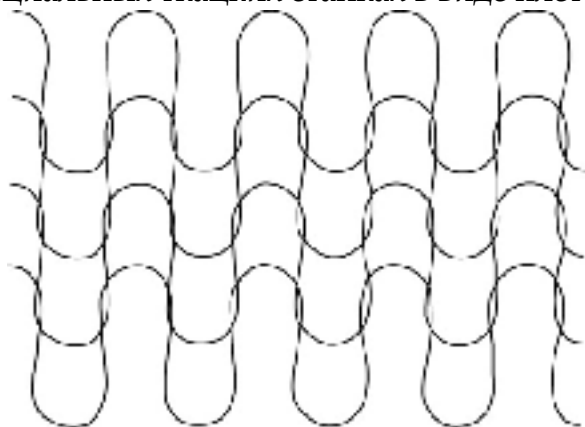


Рисунок 1.2 - Внешний вид плетеного чулка

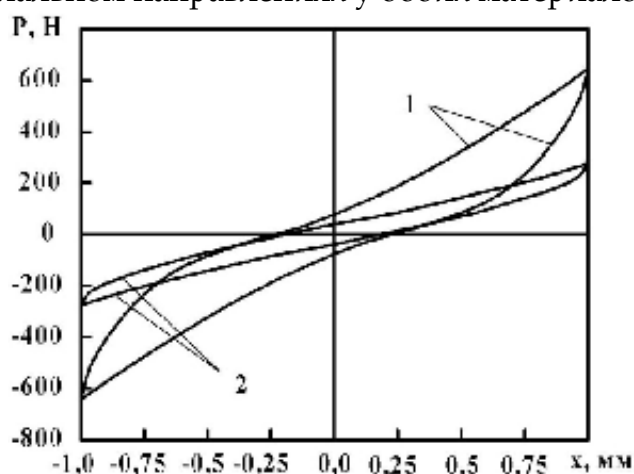
В дальнейшем из чулка получают плоскую ленту, наматываемую на специальные бобины, с которых через систему выпрямляющих и измерительных роликов она поступает на намоточные устройства, установленные на поворотном столе. На этих намоточных устройствах получают цилиндрические заготовки втулок. По сигналу с измерительных роликов плетеноя проволочная лента отрубается необходимой длины. Далее поворотный стол поворачивается на 90°, на намотанной заготовке втулки осуществляется заделка конца ленты путем сварки, пайки или скобами, втулка взвешивается с целью контроля ее плотности и корректировки последующих заготовок. Параллельно с предыдущим вышеописанным этапом, на одном из намоточных устройств производится намотка следующей заготовки втулки. Снятая с поворотного стола заготовка втулки поступает на прессование.

Вышеописанным способом получают втулки больших размеров. Для получения втулок малых размеров фирмой “Stop-Choc” разработан технологический процесс. Из проволоки получают тканый чулок, затем его сплющивают в плоскую ленту двойной толщины. Затем отрезают участок необходимой длины, который сворачивают либо поперек, либо вдоль проволочных петель. Сворачивание участка чулка осуществляется в пресс форме путем радиального прессования в матрице пуансоном с применением опорного пальца. В процессе радиального прессования происходит самосцепление кромок тонкостенной тканой ленты. Далее цилиндрическая двухслойная тканая оболочка

закладывается в пресс форму, состоящую из матрицы, пуансонов, и центрального стержня, где происходит ее прессование с прогнозируемой потерей устойчивости, при этом осуществляется зигование оболочки. В результате получают втулки, используемые для комплектования виброизоляторов.

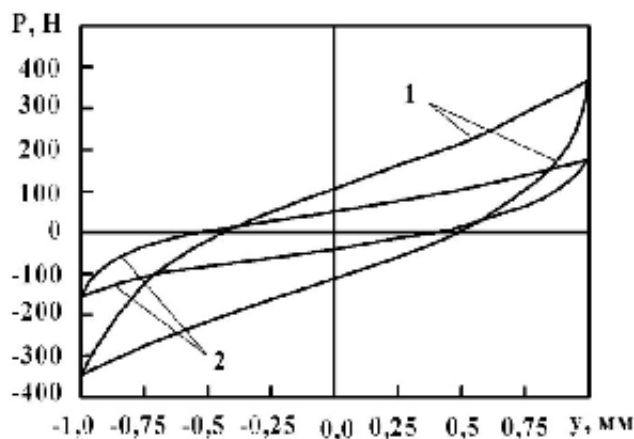
Изготовление "spring cushion" допускает большую степень автоматизации. Материал МР, хотя и имеет большую долю ручного труда при укладке спирали в заготовку, обладает дополнительной упругостью витков спирали, работающих как множество малых пружин, что увеличивает упругость материала и его несущую способность.

Представляет интерес всестороннее сравнение характеристик виброизоляторов из отечественного и зарубежного проволочных материалов. В настоящей работе сравнивались образцы из материала МР и "spring cushion" втулочного типа, изготовленные из одинаковой проволоки диаметром 0,2 мм, с одинаковым внешним диаметром 39 мм и внутренним 15 мм, высотой 20 мм, одинаковой относительной плотностью одинаковой предварительной деформацией 1,5 мм. Как и ожидалось, жесткость материала МР существенно выше, чем у "spring cushion" (рисунки 1.3, 1.4). Свойства обоих материалов существенно отличаются в направлении прессования (по оси втулки) и перпендикулярно направлению прессования (по радиусу втулки). Различие статических жесткостей в осевом и радиальном направлениях у обоих материалов одинаково (приблизительно в 1,7 раза).



1 – МР; 2 – "spring cushion"

Рисунок 1.3 - Статические характеристики в осевом направлении



1 – МР; 2 – "spring cushion"

Рисунок 1.4 - Статические характеристики в радиальном направлении

Результаты динамических экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты динамического эксперимента

Материал	М, кг	Направление нагружения	$W$ , м/с <sup>2</sup>	$f$ , Гц	$\psi$	$a$ , мм
MP	5	Осевое	10	150	1.34	0.053
			20	124	1.70	0.122
	Радиальное	10	101	1.57	0.10	
		20	95	2.02	0.17	
15	Осевое	10	60	1.69	0.26	
		20	57	2.24	0.43	
“Spring cushion”	5	Осевое	10	48	1.74	0.4
			20	40	1.34	1.4
		Радиальное	10	36	1.74	0.70
			20	28	1.85	2.2
	3.6	Осевое	10	67	1.74	0.20
			20	53	1.57	0.73

Поскольку упругодемпфирующие элементы имеют нелинейные характеристики, зависящие от амплитуды, сравнительные эксперименты проводились при различных значениях входного вибрационного ускорения  $W$ . Определялись резонансная частота  $f$  и амплитуда деформации виброизолятора  $a$ . Значение коэффициента рассеивания энергии  $\psi$  определялось по коэффициенту передачи на резонансе  $\eta$ , принято  $\psi \approx 2\pi/\eta$ .

Таким образом, материал MP имеет существенно более высокую несущую способность. При сходных резонансных частотах (около 60 Гц) виброизолятор из MP имеет нагрузку 15 кг, виброизолятор из “spring cushion” 3,6 кг, в 4 раза меньше. Материал MP имеет несколько более высокий коэффициент рассеивания энергии (при амплитуде 0,4 мм  $\psi = 2,24$  по сравнению с  $\psi = 1,74$  у “spring cushion”). Причем с ростом амплитуды деформации значение  $\psi$  у материала MP растет, у “spring cushion” оно уменьшается. Вследствие случайной укладки спирали, структура материала MP более равномерна, что ведет к меньшему изменению свойств виброизолятора при изменении внешнего воздействия.

При увеличении амплитуды действующего виброускорения вдвое, резонансная частота виброизолятора из MP меняется на 6...20%, виброизолятора из “spring cushion” – на 20... 30%. Поскольку статические и динамические свойства виброизоляторов из MP и “spring cushion” оказались слишком различны, для сравнения ресурса был изготовлен виброизолятор из MP, эквивалентный виброизолятору из “spring cushion” по несущей способности (резонансная частота 39 Гц при нагрузке 5,8 кг и амплитуде входного вибрационного ускорения 20 м/с<sup>2</sup>). Он имел относительную плотность  $\rho = 0,22$  и вес упругодемпфирующих элементов только 35 граммов против 48 граммов “spring cushion”. Значение коэффициента рассеивания энергии  $\psi$  у эквивалентного виброизолятора из MP составляет 2,3 при амплитуде входного вибрационного ускорения 20 м/с<sup>2</sup> и 1,8 при амплитуде входного вибрационного ускорения 10 м/с<sup>2</sup>, у виброизолятора из “spring cushion” эти значения равны 1,3 и 1,8 соответственно.[7]

Ресурсный эксперимент проводился на частоте 35 Гц при амплитуде деформации 2,5 мм и нагрузке 5,8 кг. Периодически контролировались резонансная частота  $f$  и значение  $\psi$  при амплитуде вибрационного ускорения 20 и 10 м/с<sup>2</sup>. [4] Результаты эксперимента приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты ресурсного эксперимента

Материал	$W$ , м/с <sup>2</sup>	Число циклов N	0	21000	42000	63000	105000	147000	189000
"Spring cushion"	20	$f$ , Гц	38.5	37	37	37	37.5	37	37
	10	$f$ , Гц	46	47	43	40	39	37	36
	20	$\psi$	1.33	1.43	1.43	1.45	1.45	1.48	1.52
	10	$\psi$	1.80	1.59	1.50	1.50	1.43	1.39	1.36
MP	20	$f$ , Гц	39	38	38	37	35	34	32
	10	$f$ , Гц	47	45	44	43	41	39	36
	20	$\psi$	2.30	2.26	2.30	2.32	2.30	2.30	2.26
	10	$\psi$	1.80	1.80	1.83	1.87	1.90	1.93	2.00

Ресурс виброизоляторов из MP и "spring cushion" приблизительно одинаков. Однако параметры виброизоляторов меняются различным образом. Виброизолятор из MP сохраняет приблизительно постоянное значение  $\psi$  в течение всего ресурса, уменьшается только резонансная частота. У виброизолятора из "spring cushion" резонансная частота на больших (более 1,5 мм) амплитудах деформации за все время работы уменьшилась только на 4%, значение  $\psi$  увеличилось на 15%. Однако при малых амплитудах деформации (0,4...0,8 мм) уменьшение резонансной частоты составило 27%, а значение  $\psi$  уменьшилось на 31%. Вероятно, износ проволок в MP и "spring cushion" происходит различным образом, этот вопрос нуждается в дополнительном исследовании.

Таким образом, несмотря на значительную долю ручного труда при производстве материала MP, он обладает большей несущей способностью. Поэтому для защиты объекта можно применять меньшее количество виброизоляторов, или упругодемпфирующие элементы меньшего размера. Это экономит дорогостоящую проволоку из нержавеющей стали и детали конструкции виброизолятора.

3. Примеры практического применения виброизоляторов на основе упругодемпфирующих элементов из прессованной проволоки.

Использование упругодемпфирующих элементов из прессованной проволоки в ручном пневматическом инструменте ударного действия позволило впервые в мировой практике снизить уровни вибрации рубильных молотков до значений, не превышающих предельно допустимых норм, а уровни вибрации кернеров снизить на 10-30 дБ.

Эти цельнометаллические средства защиты от вибрации и шума элементов и систем энергетических установок способны работать как в обычных условиях, так и в условиях ионизирующего излучения, высоких температур, воздействию агрессивных сред.

Применение упругодемпфирующих элементов из прессованной проволоки на судах с атомными энергетическими установками позволяет повысить безопасность их эксплуатации и снизить вероятность радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Использование рассматриваемых средств защиты людей от вредного воздействия вибрации и шума в цехах судостроительных предприятий снижает профессиональную заболеваемость, уменьшает вероятность ошибок связанных с утомляемостью и усталостью людей, что способствует экологической безопасности этих производств.

Использование рассматриваемых средств защиты от вибрации и шума в корабельной энергетике повысит скрытность плавания военных судов, лодок и снизит вероятность их поражения противником в военное время, что уменьшит химическое и радиоактивное заражение морей и океанов.

Замена существующих резинометаллических опорных и упорных амортизаторов на цельнометаллические повысит живучесть кораблей, судов и лодок, особенно при возникновении локальных пожаров.



При утилизации кораблей, судов и лодок отпадет необходимость в проведении экологически вредной операции – выжигании резины, с целью отделения от нее металлической арматуры.

Как на этапе постройки, так и в процессе эксплуатации кораблей, судов и лодок для цельнометаллических конструкций не потребуются экологически вредного материала – асбеста.[8]

Испытания конструкций на базе УДЭ подтвердили возможность их использования в различных областях техники. Механические параметры УДЭ из прессованной проволоки – статическая, вибрационная, ударная жесткость, виброизоляция, собственные частоты – аналогичны характеристикам подобных по геометрии резиновых элементов.

УДЭ из прессованной проволоки сохраняют свои механические и геометрические характеристики после проведения различных видов испытаний:

- на 15-кратную от номинальной статическую нагрузку;
- на 5-кратное ударное деформирование с ускорением до 100 g;
- ресурсных, при амплитуде колебаний 0,5-0,6 мм на частоте 25 Гц в течение 1500 часов;

- на коррозионную стойкость по специальной программе, включая режимы в кипящей морской воде, на границе двух сред «вода-пар» и др.

Рабочий диапазон температур УДЭ из прессованной проволоки определяется диапазоном температур применяемой проволоки, который составляет от минус 900 до плюс 4000 градусов Цельсия.

Статические и динамические характеристики УДЭ имеют ярко выраженную нелинейную зависимость, как от величины статической нагрузки, так и от амплитуды деформации. При увеличении статической нагрузки динамическая жесткость УДЭ из прессованной проволоки увеличивается так, что виброизоляторы на базе УДЭ можно отнести к категории равночастотных виброизоляторов. С увеличением амплитуды вибрационной деформации УДЭ динамическая жесткость его уменьшается, при этом коэффициент потерь увеличивается.

УДЭ из прессованной проволоки имеют практически неограниченный срок эксплуатации. Не подвержены старению, изменению жесткостных и диссипативных свойств.[1] Внешний вид упругодемпфирующих элементов из прессованной проволоки приведен на рисунке 1.5.

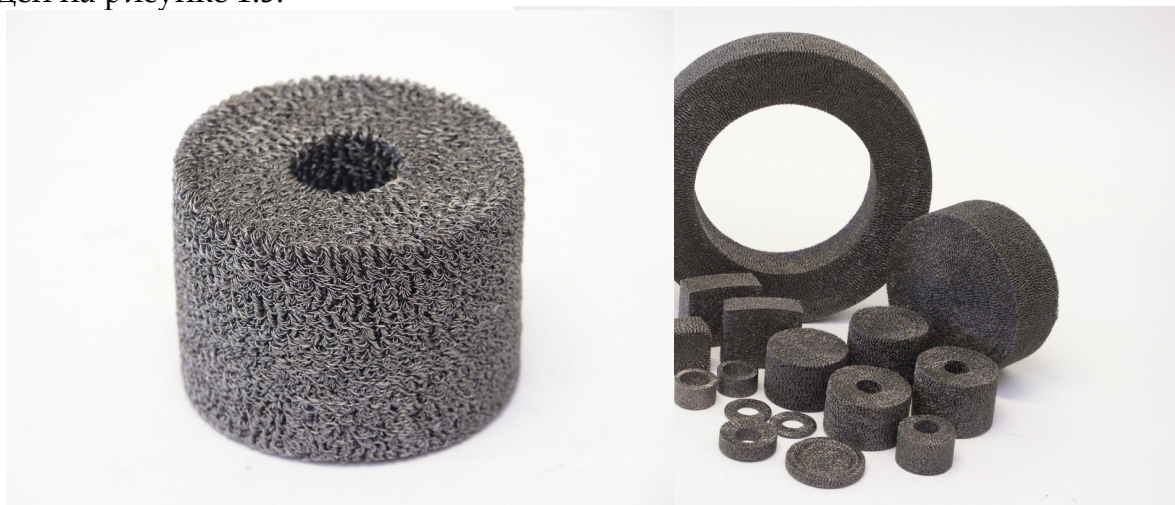


Рисунок 1.5 – Внешний вид упругодемпфирующих элементов из прессованной проволоки

Виброизоляторы на основе УДЭ имеют существенные преимущества, как по прочностным показателям, так и по областям применения. Более массовое использование упругодемпфирующих элементов из прессованной проволоки предприятиями судостроительных и других отраслей промышленности позволит снизить вероятность возникновения аварий, связанных с химическим и радиоактивным загрязнением окружающей среды, уменьшить возможность возгорания и пожаров, как в процессе постройки кораблей, так и в процессе их эксплуатации. Позволит отказаться от использования для защиты от огня и возгорания экологически опасного материала – асбеста.

#### Список литературы:

1. Акустико-аэродинамические исследования.- М.: Наука, 1975. –101 с. ;
2. Алексеев С.П., Казаков А.М., Колотилов Н.Н. Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1970. – 208 с.;
3. Беляковский Н.Г. Конструктивная амортизация механизмов, приборов и аппаратуры на судах. – Л.: Судостроение, 1965. – 523с.;
4. Горин С.В., Лесняк А.Н., Пшеницын А.А., Чупрына С.В. Расчетно-экспериментальный метод определения в частотной области жесткостных и диссипативных характеристик упругодемпфирующих элементов. - Проблемы машиностроения и надежности машин, 1995, №6, с.104-107.;
5. Горин С.В. Разработка комплекса мероприятий по улучшению виброакустических характеристик судов на этапах постройки и испытаний. –Диссертация на соискание доктора технических наук. СПб, 2003.;
6. Клюкин И.И. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах. – Л.: Судостроение, 1971, - 416 с.;
7. Клюкин И.И., Колесников А.Е. Акустические измерения в судостроении. Ленинград. Судостроение. 1982 г.;
8. Куклин М.В. Снижение шума и вибрации в системах судовой гидравлики - Судостроение, 2019, №5.

#### References:

1. Acoustic-aerodynamic research. - M.: Nauka, 1975. –101 p. ;
2. Alekseev S.P., Kazakov A.M., Kolotilov N.N. Combating noise and vibration in mechanical engineering. – M.: Mashinostroenie, 1970. – 208 p.;
3. Belyakovsky N.G. Structural depreciation of mechanisms, instruments and equipment on ships. – L.: Shipbuilding, 1965. – 523 p.;
4. Gorin S.V., Lesnyak A.N., Pshenitsyn A.A., Chupryna S.V. Calculation and experimental method for determining the rigidity and dissipative characteristics of elastic damping elements in the frequency domain. - Problems of mechanical engineering and machine reliability, 1995, No. 6, pp. 104-107.;
5. Gorin S.V. Development of a set of measures to improve the vibroacoustic characteristics of ships at the stages of construction and testing. – Dissertation for Doctor of Technical Sciences. St. Petersburg, 2003;

6. Klyukin I.I. Combating noise and sound vibration on ships. – L.: Shipbuilding, 1971, - 416 p.;
7. Klyukin I.I., Kolesnikov A.E. Acoustic measurements in shipbuilding. Leningrad. Shipbuilding. 1982;
8. Kuklin M.V. Reducing noise and vibration in ship systems hydraulics - Shipbuilding, 2019, No. 5.