

УДК 621.646.94

© Цайтлер А.В., Метелица Д.В., Головенкин Е.Н., Антипов А.И., Лозовенко С.Н.
Tsaytler A., Metelitsa D., Golovenkin E., Antipiev A., Lozovenko S.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРОСОВЫХ АМОРТИЗАТОРОВ В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОТ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ПРОЦЕССЕ ИХ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

USE OF ROPE SHOCK ABSORBERS IN THE SATELLITE'S PROTECTION SYSTEMS OF NEGATIVE INFLUENCE OF MECHANICAL LOAD DURING IT'S TRANSPORTATION

Аннотация. Представлен подход к созданию эффективной системы амортизации для заданных значений механических нагрузок, включающий в себя критерии оценки эффективности системы и их экспериментальное подтверждение.

Annotation. Described approach to design effective deprecation system in case determined values of mechanical load including evolution indicator of system effectiveness and experimental verification.

Ключевые слова. Тросовый амортизатор, космический аппарат, амортизация, механические нагрузки.

Key words. Rope shock absorber, satellite, shock absorption, mechanical load

В процессе транспортирования на космодром контейнера с КА необходимо снизить негативное влияние вибрации и механических нагрузок, под воздействием которых возможно ухудшение характеристик и появление скрытых дефектов КА, устранение которых потребует значительных временных и материальных затрат. Использование систем амортизации вкупе с системами обеспечения комфортных условий позволяет сократить объем подготовительных операций на полигоне запуска, таких как повторное проведение электрических испытаний КА.

Система амортизации (СА) предназначена для уменьшения вибрации и динамических ударов, воздействующих на КА при погрузочно-разгрузочных работах и транспортировании контейнера.

Использование пневмо- и гидровиброизоляторов в контейнерах транспортировочных (КТ) для транспортирования КА (особенно крупногабаритных) не пред-

ставляется возможным ввиду их узкого рабочего диапазона и существенных габаритов.

Частично этих недостатков лишены тросовые виброизоляторы, которые нашли широкое применение в аэрокосмической промышленности. В основе их работы заложена идея рассеяния энергии колебаний объекта за счет взаимного проскальзывания проволочек с трением при деформировании упругих элементов. Конструктивно виброизолятор представляет собой многослойные элементы с регулярной структурой – металлические тросы (канаты), пакеты стержней, колец, лент (см. рис. 1).

В КТ производства ОАО «ИСС» применяются тросовые амортизаторы, которые «работают» на изгиб. На рис. 2 показан амортизатор, представляющий собой пластину, закрепленную на основании, связанном с объектом, и соединенную с аналогичной пластиной 2 на раме посредством троса 3. Трос определенным образом проходит сквозь пластины (рис. 2,3). Количество петель

Цайтлер Андрей Владимирович – аспирант, ФГБОУ ВПО «СибГАУ имени академика М.Ф.Решетнева», тел. 8(391) 251-31-94;
Метелица Денис Владимирович – аспирант, ФГБОУ ВПО «СибГАУ имени академика М.Ф.Решетнева»;
Головенкин Евгений Николаевич – доктор технических наук, профессор, начальник отдела, ОАО «ИСС»;
Антипов Александр Иванович – начальник лаборатории, ОАО «ИСС»;
Лозовенко Сергей Николаевич – инженер, ОАО «ИСС».

Tsaytler Andrei – postgraduate, FSBEI HPE "SibSAU", tel. 8(391) 251-31-94;
Metelitsa Denis – postgraduate, FSBEI HPE "SibSAU";
Golovenkin Evgenii – doctor of technical sciences, professor, department head, JSC "ISS";
Antipiev Alexandr – head of laboratory, JSC "ISS";
Lozovenko Sergei – engineer, JSC "ISS".

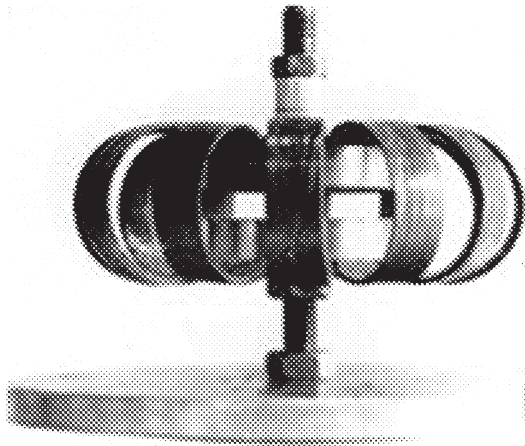


Рис. 1. Тросовый амортизатор

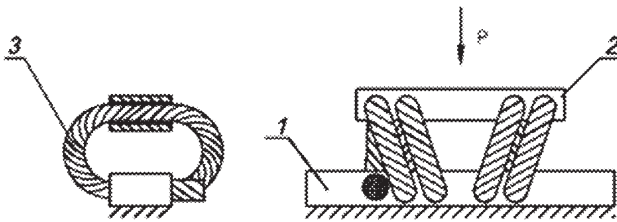


Рис. 2. Тросовый амортизатор, работающий на изгиб

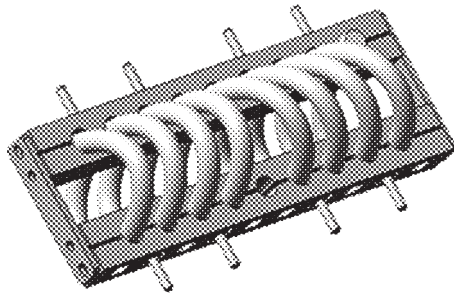


Рис. 3. Внешний вид тросового амортизатора
спирали выбирается в зависимости от требуемой жесткости и несущей способности амортизатора. В зависимости от требуемой нагрузки используются тросы диа-

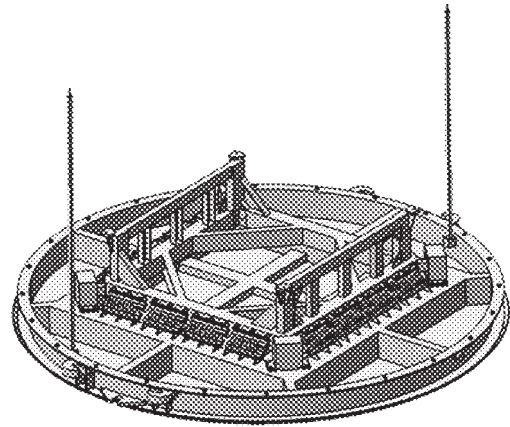


Рис. 4. Основание контейнера транспортного 98Д.9812-0 с системой амортизации

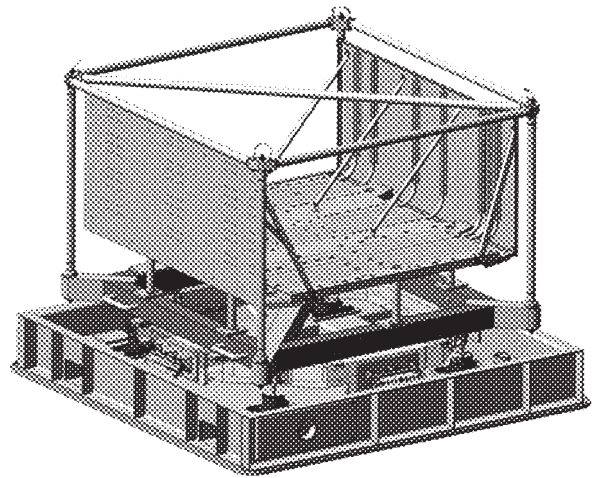


Рис. 5. Основание контейнера транспортного 14Ф31.9427-0 метром от 5 до 17 мм.

Одним из первых КТ с системой амортизации стал контейнер транспортный 98Д.9812-0 (рис. 4). В последующие годы были изготовлены контейнеры для транспортировки модулей полезной нагрузки, в том числе смон-

Величины коэффициентов перегрузок

Операции	Коэффициенты перегрузок, g			Коэффициент безопасности
	n_x	n_y	n_z	
1. Транспортирование автомобилем	-1 ± 2	$\pm 1,25$	$\pm 2,00$	См. примечание
	-3,19	-	1,55	
2. Авиационное транспортирование	-3,58	-	-0,59	1,5
	-4,0	-	-	1,5
	-3,07	$\pm 0,67$	-	1,5
	-3,76	-	-	1,65
3. Транспортирование по железной дороге	-1 ± 2	$\pm 1,00$	$\pm 3,00$	См. примечание
4. Такелажные работы	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$1 + 0,5$	См. примечание
Примечание - Коэффициент безопасности принимать при расчетах на прочность $\eta=2$ на динамическую составляющую перегрузки и $\eta=1,5$ на статическую; n_x – вертикальная перегрузка; n_y, n_z – боковые перегрузки.				

тированных на сотопани (рис. 5).

Анализ результатов транспортирования позволил определить величины коэффициентов перегрузок (см. таблицу).

Для работы в таких условиях необходим низкочастотный амортизатор (5-20 Гц), эффективно работающий на частотах выше 6 Гц.

Определим коэффициент виброизоляции, для чего представим тросовый амортизатор как систему вынужденных колебаний с трением, пропорциональным скорости. Уравнение системы имеет вид

$$q + 2nq + p^2q = h \cos(\omega t). \quad (1)$$

Общим решением уравнения является

$$Q = Ae^{-nt} \cos(p_1 t - Q) + q_k, \quad (2)$$

где A – амплитуда затухания колебаний;

q_k – вынужденные колебания системы.

Первый член – свободные затухающие колебания. Этот член в общем решении учитывать не будем, так как он является затухающим колебанием. Принимая, что вынужденные колебания имеют решение

$$q_k = B \cos(\omega t - \gamma). \quad (3)$$

Тогда уравнение (1) принимает вид

$$B(p^2 - \omega^2) \cos(\omega t - \gamma) - 2n\omega B \sin(\omega t - \gamma) = h \cos(\omega t). \quad (4)$$

Заменяя \cos и \sin разности и собирая члены с общим множителем при $\cos \gamma$, $\sin \gamma$, после преобразований получаем следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} B(p^2 - \omega^2) \cos(\gamma) + 2n\omega B \sin(\gamma) &= h \cos(\omega t); \\ B(p^2 - \omega^2) \sin(\gamma) - 2n\omega B \cos(\gamma) &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Из полученных уравнений (5) определим B – амплитуду вынужденных колебаний

$$B = \frac{h}{\sqrt{(p^2 - \omega^2)^2 + (2n\omega)^2}}. \quad (6)$$

Разделив на p при $B_{ст} = h/p$, получим зависимость

$$B = \frac{B_{ст}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)^2 + \left(2n \frac{\omega}{p}\right)^2}}. \quad (7)$$

Отношение $B/B_{ст} = \beta$ и равнос

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)^2 + \left(2n \frac{\omega}{p}\right)^2}} \quad (8)$$

называется коэффициентом виброизоляции

Логарифмический декремент затухания колебаний определяется зависимостью

$$\delta = \ln \frac{A_0}{A_1} = nT = n \frac{2\pi}{p_1} = \frac{\pi}{K_d}, \quad (9)$$

где A – амплитуда затухания колебаний;

T – период колебаний;

$p_1^2 = p^2 - n^2$ – круговая частота колебаний системы с трением в квадрате;

K_d – коэффициент динамичности.

Из формулы (9) выразим n через K_d и подставим это значение в формулу (8), получим коэффициент виброизоляции

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)^2 + \left(\frac{\omega}{K_d p}\right)^2}}, \quad (10)$$

где p – собственная частота колебаний системы амортизации с КА;

ω – частота возбуждения;

K_d – коэффициент динамичности.

При $\omega/f > \sqrt{2}$ система обладает виброзащитными свойствами.

Ожидаемая эффективность приведена на рис. 6.

Как показано на рис. 6, система амортизации на-

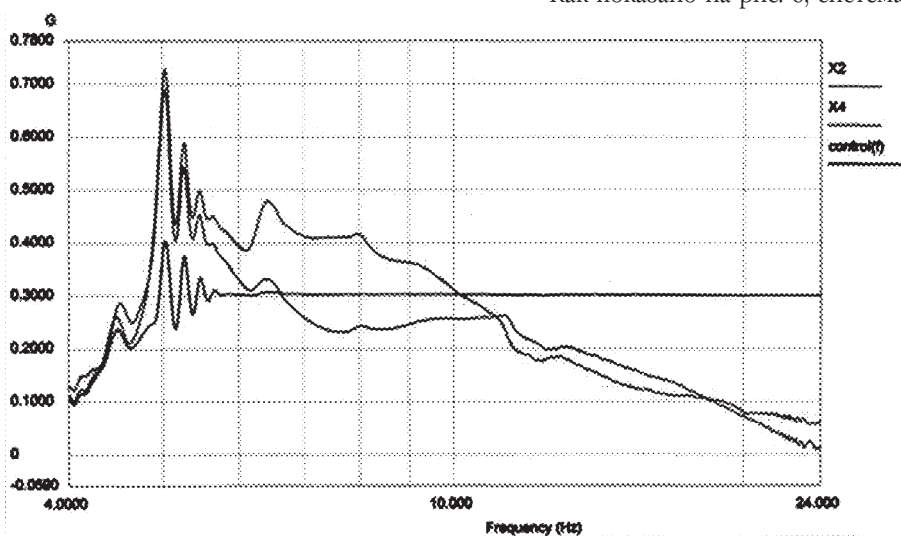


Рис. 6. Ожидаемая эффективность тросового амортизатора

чинает эффективно работать с частоты 7 Гц.

На этапе изготовления проводится проверка теоретических расчетов путем испытаний опытного образца. На данных испытаниях производится оценка жесткости амортизатора по следующей методике:

К амортизатору прикладывается вертикальная нагрузка с дискретностью 20 кг, и производится замер высоты амортизатора после каждого нагружения. Нагрузка прикладывается до соприкосновения гребенок троса. По окончании замеров строится график жесткости амортизатора (рис. 7).

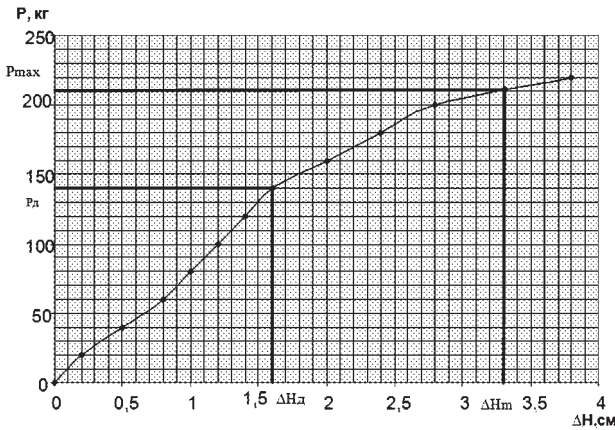


Рис. 7. График жесткости тросового амортизатора

Допустимое значение несущей способности амортизатора определяется по формуле $P_0 = P_{max} / 1,5$.

На основании результатов испытаний проводится определение количества амортизаторов в контейнере.

По окончании монтажа системы амортизации, перед внедрением в эксплуатацию, проводятся натурные испытания. Натурные испытания проводятся путем пробега на автомобиле с закрепленной в нем платформой с весовым макетом КА.

Пробег осуществляется два раза по одному и тому же маршруту. В процессе транспортировки регистрируются перегрузки на макете КА. Для регистрации вибронагрузок используются 2 регистратора типа EDR-3C-10. Один из регистраторов установлен на платформе с КА, второй регистратор установлен на основании.

По завершении натурных испытаний принимается решение об использовании системы амортизации в КТ.

Описанный подход позволяют создать эффективную систему амортизации с требуемыми характеристиками, способную максимально снизить негативное воздействие механических нагрузок на КА в течение его транспортирования и хранения.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

Материал поступил в редакцию 20. 03. 2012 г.