

ПРИМЕНЕНИЕ СПЛАВОВ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ УДАРНЫХ НАГРУЗОК В УСТРОЙСТВАХ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Волков А.Е.¹, Евард М.Е.¹, Таквинчин К.А.¹, Викулеников А.В.², Успенский Е.С.²

¹ Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия

² ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», Московская обл., г. Химки, Россия

evard@math.spbu.ru

Высокая демпфирующая способность и возможность изменения жесткости путем изменения температуры позволяют рассматривать сплавы с памятью формы (СПФ) в качестве функциональных элементов при разработке управляемых полуактивных демпферов, изоляторов и динамических гасителей колебаний. Возможность применения элементов из СПФ и, в частности, плоских разрезных пружин из СПФ в качестве рабочих элементов виброзащитного устройства была показана в работах [1, 2]. Помимо вибрации, ответственные узлы (полезные нагрузки), размещенные на борту малого космического аппарата, могут испытывать различного рода удары и толчки. В настоящей работе выполнено моделирование работы виброизолирующего устройства с элементами из СПФ при однократном кратковременном воздействии. Расчет колебаний системы, состоящей из элементов из СПФ и инертной массы, выполняли с использованием упрощающих предположений, обычно применяемых в сопротивлении материалов. Для описания механических свойств СПФ использован микроструктурный подход, предложенный в [3].

Система виброизоляции, состоящая из двух плоских прорезных пружин из СПФ в форме диска с концентрическими прорезями и тела, имитирующего полезную нагрузку и характеризуемого инертной массой m , описана в работе [2]. Там же подробно приведена схема расчета, который проводили по этапам: 1) охлаждение от некоторой стартовой температуры до температуры испытаний, 2) предварительное деформирование обоих элементов, 3) сообщение перемещения точкам закрепления пружин. При моделировании однократного кратковременного воздействия в настоящей работе предполагали, что на третьем этапе точкам закрепления пружин сообщается ускорение a , зависящее от времени t следующим образом:

$$a = a_m / ch^2 \left(\frac{t - t_0}{T^*} \right).$$

Здесь амплитудное значение ускорения a_m , а также параметры t_0 и T^* определяют форму импульса ускорения. Данный закон изменения ускорения во времени был выбран в силу простоты получения аналитических выражений для скорости и перемещения, используемых в расчетах. При необходимости ускорение может быть задано произвольным образом, а скорость и перемещение найдены путем численного интегрирования.

Моделирование поведения виброизолирующей системы выполняли для элементов из СПФ, находящихся в мартенситном (псевдопластическом) состоянии при температуре $T = 300$ К, аустенитном (псевдоупругом) состоянии с низким пределом фазовой текучести ($T = 320$ К) и аустенитном состоянии с высоким пределом фазовой текучести ($T = 400$ К). Величину амплитудного значения, а также параметров t_0 и T^* , определяющих ширину и положение пика ускорения, варьировали. На рис. 1 приведены зависимости ускорения полезной нагрузки от времени для указанных температур при $a_m = 5$ м/с² для «короткого» ($t_0 = 0,03$ с, $T^* = 0,008$ с) и «длительного» ($t_0 = 2$ с, $T^* = 1$ с) импульсов. Полученные результаты показали, что при «коротком» импульсе система работает в режиме изоляции (амплитуда ускорений полезной нагрузки меньше амплитудного значения вынуждающего ускорения), когда элементы из СПФ находятся в псевдоупругом или мартенситном состоянии. При температуре 400 К полезная нагрузка в течение всего модельного эксперимента (10 с) испытывает колебания с затухающей амплитудой ускорений. В случае «дли-

тельного» импульса воздействия на временной зависимости ускорения груза наблюдается тот же пик, что и для вынуждающего ускорения, но с биениями. При этом размах и продолжительность биений наименьшая температуре 320 К.

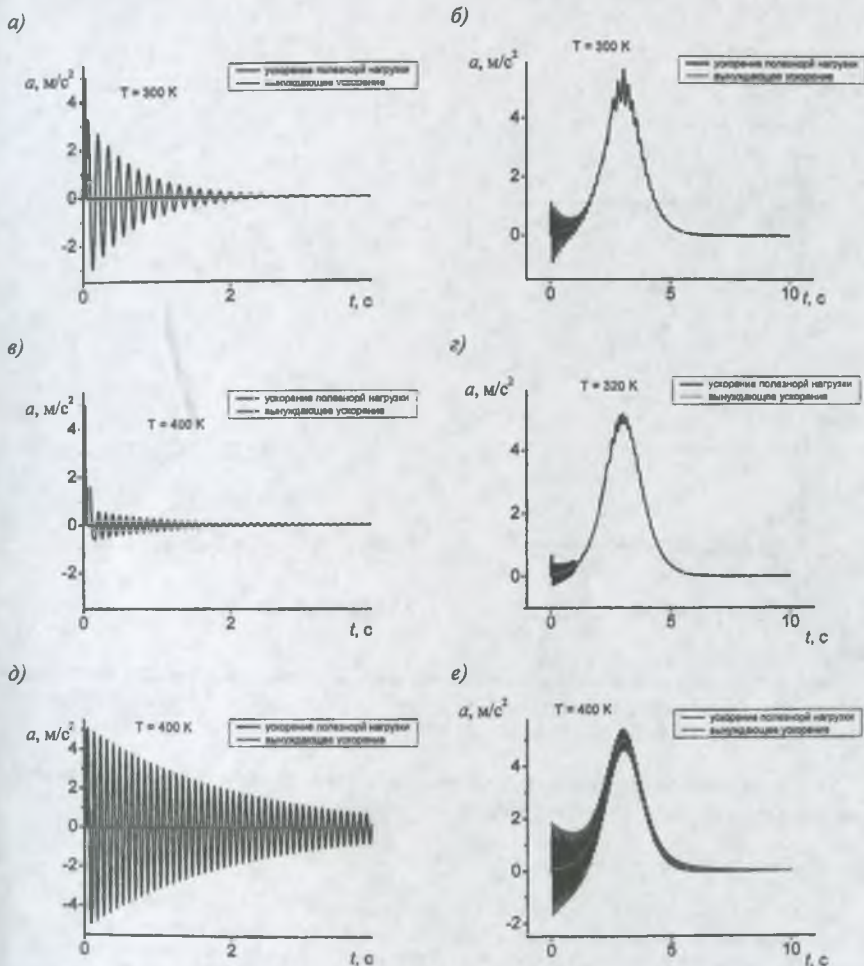


Рис. 1. Зависимость ускорения полезной нагрузки и вынуждающего ускорения с $a_m = 5 \text{ м/с}^2$ от времени при температурах 300 (а, б), 320(в, г) и 400 К (д, е). $t_0 = 0,03 \text{ с}$, $T^* = 0,008 \text{ с}$ (а, в, д) и $t_0 = 2 \text{ с}$, $T^* = 1 \text{ с}$ (б, г, е).

На рис. 2 представлены зависимости относительного смещения u_r корпуса элемента и полезной нагрузки от времени при различных температурах и длительностях и амплитудных значениях импульса. При «длительном» импульсе для амплитуды ускорения 5 м/с^2 при $T = 400 \text{ К}$ относительное смещение в установившемся режиме равно 1.8 мм, в то время как при $T = 320 \text{ К}$ $u_r = 34.2 \text{ мм}$, а при $T = 300 \text{ К}$ $u_r = 35.8 \text{ мм}$. При амплитуде $a_m = 10 \text{ м/с}^2$ картина качественно меняется: относительное смещение в случае, когда элементы из СПФ

находятся в аустенитном состоянии, в установившемся режиме больше чем при 300 и 320 К. В случае «короткого» импульса для обоих амплитудных значений вынуждающего ускорения максимальное относительное смещение наблюдается при $T = 320$ К.

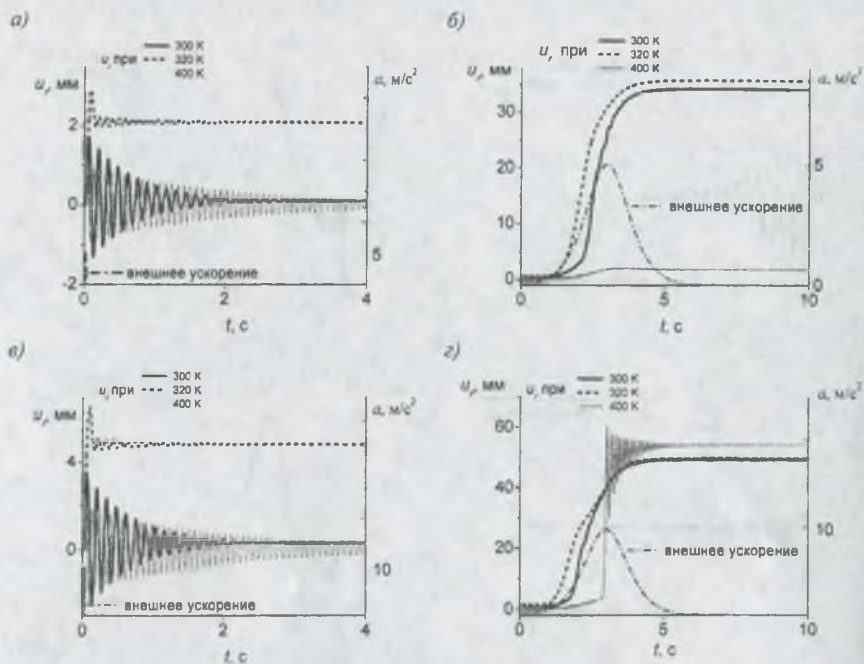


Рис. 2. Зависимость относительного смещения корпуса элемента и полезной нагрузки от времени при различных температурах. $a_m = 5$ м/с² (а, б) и 10 м/с² (в, з); $t_0 = 0,03$ с, $T^* = 0,008$ с (а, в) и $t_0 = 2$ с, $T^* = 1$ с (б, з).

Таким образом, выбор рабочей температуры виброзащитного элемента позволяет изменять характер отклика полезной нагрузки на кратковременное воздействие.

Работа выполнена при поддержке РФФИ. грант № 10-01-00671.

1. Волков А.Е., Евард М.Е., Викуленков А.В. Моделирование управления колебаниями в устройстве виброзащиты на основе сплава с памятью формы // Фундаментальные и прикладные вопросы механики и процессов управления. Всероссийская научная конференция, посвященная 75-летию со дня рождения академика В.П. Мясникова. 11 – 17 сент. 2011 г., Владивосток: сб. докл. [Электронный ресурс]. – Владивосток: ИАПУ ДВО РАН, 2011. С. 53 – 58. ISBN 987-5-7442-1530.
2. Викуленков А. В., Волков А. Е., Евард М. Е. и др. Моделирование работы виброизолирующего устройства космического назначения с элементами из сплава с памятью формы // XX Петербургские чтения по проблемам прочности. Санкт-Петербург, 10-12 апреля 2012 г.: сборник материалов. – Ч. 1. — СПб.: Соло, 2012. – с. 45 – 48.
3. Volkov A.E., Casciati F. Simulation of dislocation and transformation plasticity in shape memory alloy polycrystals // Shape memory alloys. Advances in modelling and applications / Ed. by F.Auricchio, L.Faravelli, G.Magonette and V.Torra. Barcelona, 2001. P. 88 – 104.