

5. Е.И. Пустыльник. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М.: Наука, 1968. с.288.
6. Патент на изобретение РФ, МКИ G 01 M 3/02, 3/26. Способ контроля герметичности изделий /С.А. Бушин, В.В. Багрова. ФГУП ВНИИА.- №2589941; Заявл. 05.03.15; Оpubл. 10.07.16. Бюл.19.

Исследование платформы для активной виброизоляции вакуумного оборудования

В.П. Михайлов, Д.К. Товмаченко, Тун Лин Аунг, А.А. Копылов
Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2-я Бауманская, д. 5
e-mail: mikhailov@bmstu.ru

В работе приведены результаты экспериментальных исследований платформы для активной виброизоляции вакуумного оборудования, в которой используются активные демпферы на основе магнитоэологических (МР) эластомеров. Платформа может быть также использована как привод точного позиционирования. Свойства МР эластомера используются для регулирования параметров точности и динамики активных демпферов. Для решения этих задач была экспериментально исследована работа активных демпферов при резонансе в пассивном и полупассивном режимах.

Research of platform for active vibration isolation of vacuum equipment. V.P.Mikhailov, D.K.Tovmachenko, Tun Lin Aung, A.A.Kopylov. The paper presents the results of experimental research of platform for active vibration control of vacuum equipment, which uses active dampers based on magnetorheological (MR) elastomers. The platform can be used also as actuator for precise positioning. The properties of the MR elastomer are used to control precision and dynamics parameters of the active damper. The active damper at resonance in passive and semi-active modes was experimentally investigated.

Для современного нанотехнологического и исследовательского оборудования, в том числе вакуумного (установок микро- и нанолитографии, оборудования нанолокальной ионной и электронной обработки, сканирующих электронных микроскопов, сканирующих зондовых микроскопов и др.), требуется защита от неблагоприятных вибрационных воздействий [1-4]. Колебания высокой частоты успешно изолируются при помощи систем пассивной виброзащиты. Гораздо более опасными являются вызванные резонансными явлениями низкочастотные колебания, для устранения которых используются системы активной виброзащиты.

В работе приведены результаты экспериментальных исследований активных демпферов на основе магнитоэологических эластомеров, которые используются в платформе для активной виброизоляции [5-7]. Платформа содержит нижнюю и верхнюю плиты, четыре активных демпфера и четыре узла упругой подвески с массовым корректором, расположенных равномерно по периметру платформы (рис. 1). Узел упругой подвески представляет собой горизонтальный маятник с регулируемой несущей пружиной и массовым корректором. Масса маятника представляет собой эквивалент одной четверти массы виброизолируемого объекта. Узлы упругой подвески позволяют настраивать платформу для активной виброизоляции на требуемую массу объекта при помощи регулируемой несущей пружины и резонансную частоту при помощи массового корректора. Активный демпфер содержит мембрану из МР эластомера с подвижным жестким центром, корпус, электромагнитную катушку, сердечник, основание. Сердечник образует с жестким центром воздушный зазор. Демпфер работает следующим образом: при подаче управляющего тока в электромагнитную катушку в электромагнитной системе возникает замкнутое магнитное поле. В мембране формируется радиальное магнитное

поле с индукцией, величина которой имеет максимум вблизи жесткого центра. Под действием этой магнитной индукции мембрана с жестким центром перемещается в осевом направлении в пределах воздушного зазора. Платформа для активной виброизоляции может быть также использована как привод точного позиционирования для работы в следящем режиме или режиме стабилизации положения. Свойства МР эластомера используются для регулирования параметров точности, динамики и амплитудно-частотных характеристик активного демпфера. Для решения этих задач была экспериментально исследована работа активных демпферов при резонансе в пассивном и полупассивном режимах.

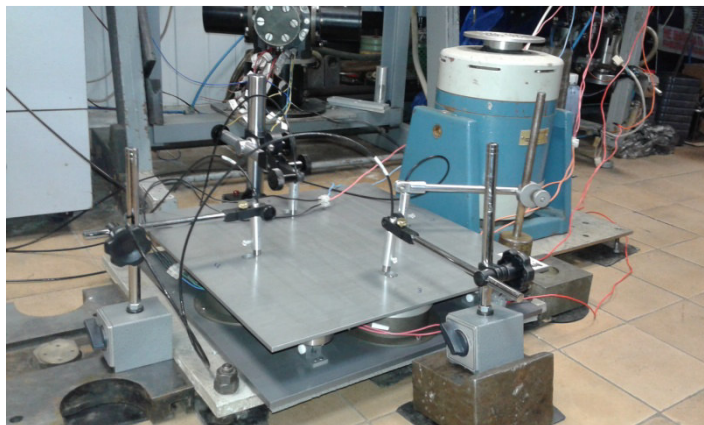


Рис. 1. Фотография экспериментального образца платформы для активной виброизоляции.

Схема экспериментального стенда показана на рис. 2. Частота и амплитуда вибраций основания задавались с помощью генератора сигналов и вибратора напольного 12 МВЭ 2/50-010. Частота вибраций изменялась в диапазоне от 10 до 200 Гц, амплитуда виброперемещений составляла около 300 мкм. Сигналы перемещений активного демпфера и основания определялись при помощи двух бесконтактных ёмкостных датчиков измерительной системы CAPA NCDT 6200 с погрешностью измерения 0,04 мкм и диапазоном 1 мм, подавались на АЦП USB 6009 и управляющий компьютер. Фотографии стенда и измерительной системы для определения коэффициента передачи амплитуды колебаний активного демпфера показаны на рис. 3

Коэффициент передачи амплитуды виброперемещений (КПАВ) является основным параметром активного демпфера и определяется отношением амплитуды колебания положения виброизолируемого объекта к амплитуде колебания положения основания.

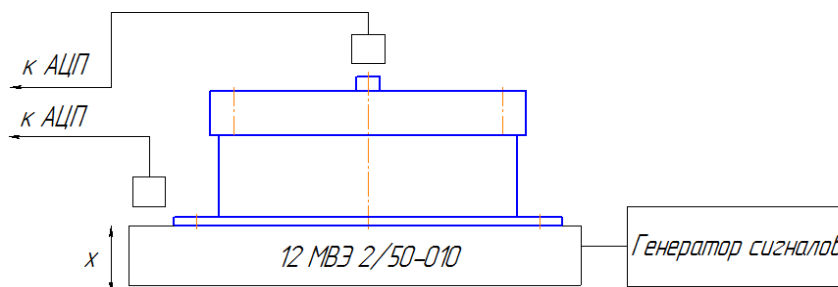


Рис. 2. Схема стенда для определения коэффициента передачи амплитуды колебаний активного демпфера.

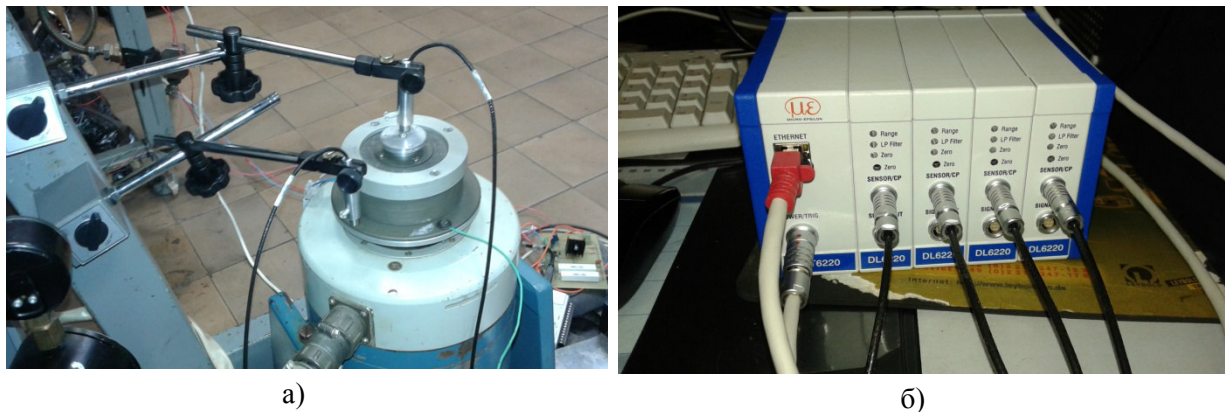
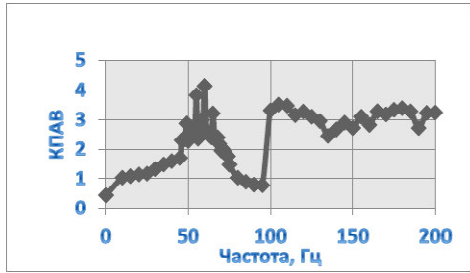


Рис. 3. Фотографии: а) стенда для определения коэффициента передачи амплитуды колебаний активного демпфера; б) измерительной системы SARA NCDT 6200.

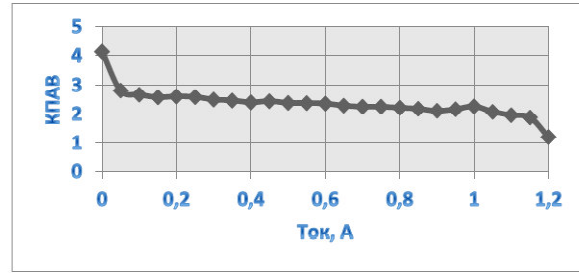
Для исследования работы активных демпферов при резонансе были проведены измерения амплитуд виброперемещений виброизолируемого объекта и основания на разных частотах при нулевом управляющем токе. На основе полученных данных для четырех активных демпферов платформы построены графики зависимости КПАВ от частоты вибраций, создаваемых генератором сигналов в диапазоне от 10 до 200 Гц с шагом 5 Гц (рис. 4 а,в,д,ж). Резонансные частоты для демпферов составляют, соответственно, 60 Гц; 57 Гц; 51 Гц и 51 Гц.

Следующим этапом исследования стало выявление эффективности снижения КПАВ при резонансных частотах демпферов за счёт подачи управляющего сигнала на демпфер в диапазоне от 0 до 1,2 А с шагом 0,05 А. На основе полученных данных для четырех активных демпферов построены графики зависимости КПАВ от величины управляющего тока (рис. 4 б, г, е, з). Из графиков на рис. 4 видно, что эффективное снижение коэффициента передачи амплитуды виброперемещений активных демпферов в 1,5 – 5,5 раз, происходит, соответственно, при подаче управляющих токов 1,2 А; 1 А; 0,6 А и 1,2 А.

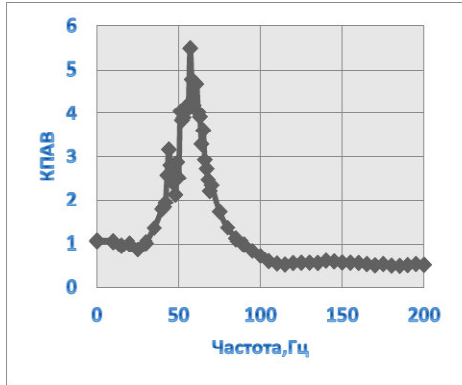
Дальнейшее уменьшение коэффициента передачи достигается за счет полностью замкнутого управления активным демпфером, при котором он работает как привод точного позиционирования. Для этого было проведено динамическое моделирование работы активного демпфера [8]. Была разработана структурная схема системы автоматического регулирования активного демпфера для режима активной виброизоляции в низкочастотном диапазоне при одновременном воздействии синусоидальных вибраций и ступенчатом управляющем сигнале при пошаговом перемещении демпфера на 5 мкм. Параметры воздействия: амплитуда колебаний основания демпфера 5 мкм, частота колебаний 4 Гц. В структурной схеме для обеспечения устойчивости и уменьшения времени переходных процессов использован ПИД регулятор. Был получен переходный процесс системы автоматического регулирования активного демпфера. Время переходного процесса для погрешности позиционирования 0,25 мкм составляет 0,6 с. Коэффициент передачи амплитуды виброперемещений активного демпфера при этом составляет 0,02, что удовлетворяет требованиям к системам активной виброизоляции.



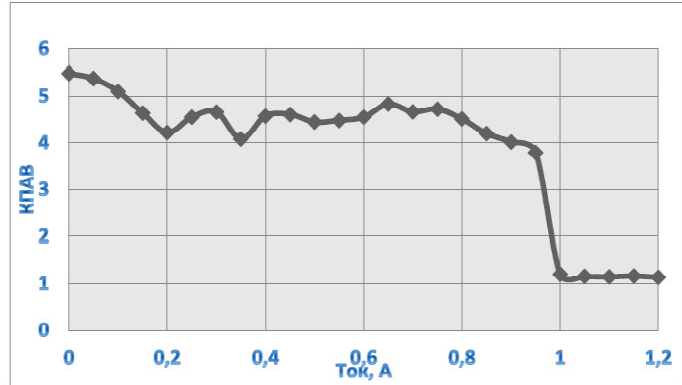
а)



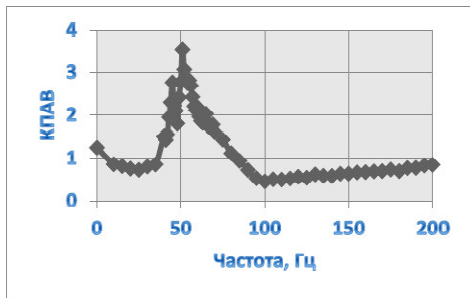
б)



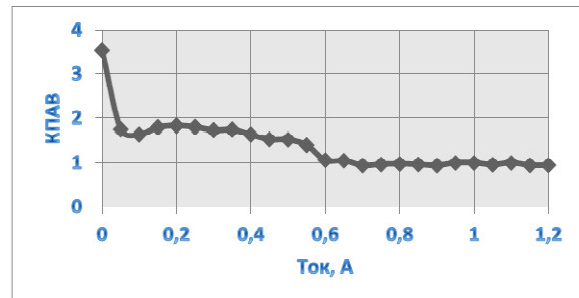
в)



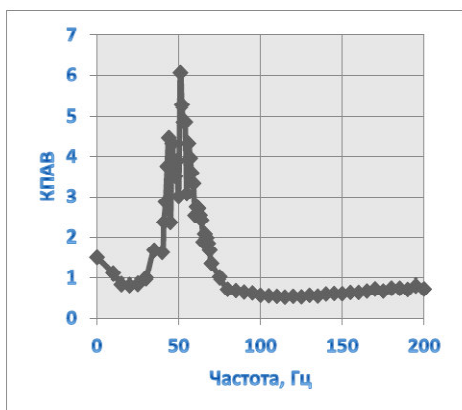
г)



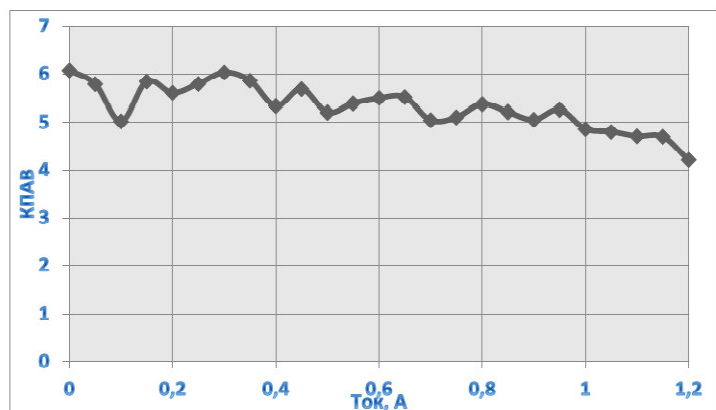
д)



е)



ж)



з)

Рис. 4. Зависимости коэффициента передачи амплитуды виброперемещений (КПАВ) активного демпфера от частоты колебаний при нулевом управляющем токе (а, в, д, ж) и величины управляющего тока при резонансных частотах (б, г, е, з).

Проведенные исследования показали, что для каждого активного демпфера необходимо проводить предварительное тестирование для определения резонансных частот, индивидуальных амплитудно-частотных характеристик и диапазонов управляющих сигналов для использования полученных данных в процессе управления активной виброизолирующей платформой.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации при выполнении НИР в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности по заданию №9.8503.2017/БЧ.

Литература

1. Оборудование ТМС для подавления вибраций. Режим доступа: <http://sernia.ru> (дата обращения 17.05.2017).
2. Active Vibration Isolation. Accurion. Режим доступа: <http://www.accurion.com> (дата обращения 15.05.2017).
3. Vibration Isolation Products. Minus K® Technology, Inc. Режим доступа: <http://www.minusk.com> (дата обращения 15.05.2017).
4. Нанoeлектроника / В.Е. Борисенко, А.И. Воробьева, Е.А. Уткина. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 223 с.
5. V.P.Mikhailov, A.M.Bazinenkov. A Vibration-Control Platform on the Basis of Magnetorheological Elastomers. Instruments and Experimental Techniques, 2016, Vol. 59, No. 1, pp. 131–135.
6. Mikhailov V.P., Bazinenkov A.M. Active vibration isolation platform on base of magnetorheological elastomers. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 431 (2017) pp. 266–268.
7. В.П. Михайлов, А.С. Селиваненко, А.М. Базиненков. Платформы для активной виброизоляции на основе магнитореологических эластомеров. Вестник машиностроения. 2015, №4, 2015, С.28-31.
8. В.П. Михайлов, А.М. Базиненков, Д.К. Товмаченко, А.А. Копылов, А.Э. Янчелик. Платформа для активной виброизоляции прецизионного вакуумного оборудования. Материалы XXIII научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов «Вакуумная наука и техника», 2016, С.100 – 105.