

АКТИВНАЯ ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ВЫСОКОВАКУУМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ACTIVE VIBRATION ISOLATION OF PRECISION HIGH VACUUM EQUIPMENT

В.П. Михайлов, / mikhailov@bmstu.ru, А.А. Копылов, / wertyoz@bk.ru

V.P.Mikhailov, A.A.Kopylov

МГТУ им. Н. Э. Баумана, г.Москва

Дано описание системы активной виброизоляции на основе магнитоореологических (МР) эластомеров для прецизионного высоковакуумного оборудования. Представлены результаты экспериментальных исследований системы активной виброизоляции и определены коэффициенты передачи амплитуды виброперемещений в низкочастотном диапазоне.

Ключевые слова: активная виброизоляция, магнитоореологический эластомер, прецизионное высоковакуумное оборудование.

A description of an active vibration isolation system based on magnetorheological (MR) elastomers for precision high-vacuum equipment is given. The results of experimental studies of the active vibration isolation system are presented and the transmission coefficients of the amplitude of vibration displacements in the low-frequency range are determined.

Keywords: active vibration isolation, magnetorheological elastomer, precision high vacuum equipment.

ВВЕДЕНИЕ

Для защиты прецизионного высоковакуумного оборудования (электронных микроскопов, сканирующих зондовых микроскопов, оборудования для микро- и нанолитографии и др.) от внешних вибраций применяются различные типы виброизолирующих систем (пневматических, гидравлических, пьезоэлектрических и др.) которые подразделяются на пассивные и активные [1-3].

Пассивные системы эффективно подавляют вибрации при частотах более 50 Гц, при этом, в низкочастотной области такие системы малоэффективны, так как не могут скомпенсировать резонансные явления. Для виброизоляции в низкочастотном диапазоне применяют системы активной виброизоляции, использующие энергию дополнительного источника. Наибольшей эффективностью обладают современные системы, объединяющие в себе активную и пассивную виброизоляцию [4-9].

ОПИСАНИЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ АКТИВНОЙ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ С ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Платформа для активной виброизоляции представляет собой две плиты, между которыми располагаются четыре узла упругой подвески с массовыми корректорами и четыре активных демпфера на основе магнитоореологического (МР) эластомера [10-14]. Платформа объединяет в себе активную и пассивную виброизоляцию, в частности активную систему на основе МР демпферов и пассивную систему квазинулевой жёсткости на основе упругой подвески с массовыми корректорами.

Для проведения исследований платформы в активном режиме, был собран стенд, общий вид которого показан на рис. 1.

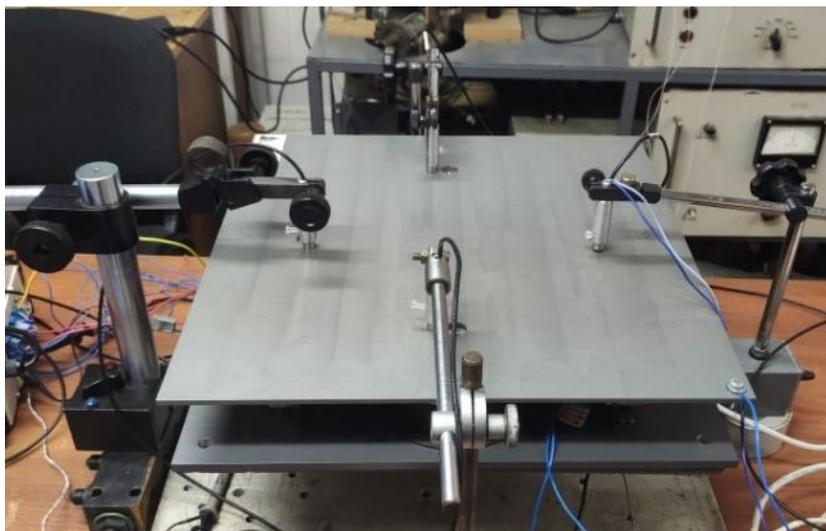


Рис. 1. Общий вид стенда с установленными датчиками

В состав замкнутой системы автоматического управления платформы активной виброизоляции входит микроконтроллер на отладочной плате, усилитель, 4-х канальный АЦП и делитель напряжения для чтения показаний каждого датчика перемещения, 4-х канальный ЦАП для передачи аналогового сигнала на усилитель, дисплей для вывода отладочной информации.

САУ обеспечивает обработку показаний каждого из четырех емкостных датчиков перемещения, а также выдачу управляющего сигнала, передаваемого на усилитель и затем поступающего в катушку соответствующего активного демпфера, располагаемого под соответствующим датчиком, тем самым создавая необходимое противофазное колебание.

Для оценки эффективности работы платформы активной виброизоляции используются показания с емкостных датчиков Д1-Д4, передаваемые на персональный компьютер и сравниваемые с показаниями датчика Д5 установленного на основании платформы. Данные с датчиков записываются в файл и обрабатываются по заданному алгоритму.

Используемое оборудование:

1. Датчики перемещения емкостные с контроллером датчиков DL6220/ECL2;
2. Блок усилителей;
3. Блок АЦП/ЦАП USB-6009;
4. Регулируемый источник постоянного тока Gratten APS3005S-3D;
5. Генератор сигналов Rigol DG1022;
6. Микроконтроллер STM32F407VET6 на отладочной плате.
7. Персональный компьютер ПК.

Управляющая программа реализует алгоритм управления по закону пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В ходе исследований был проведен эксперимент в диапазоне частот от 0,3 до 100 Гц., при максимальном размахе вибрационных возмущений до 600 мкм. На рисунке 2 представлен график зависимости перемещения от времени для платформы активной виброизоляции на частоте 1,5 Гц, демонстрирующий снижение амплитуды вибрации с 300 мкм до 10–15 мкм.

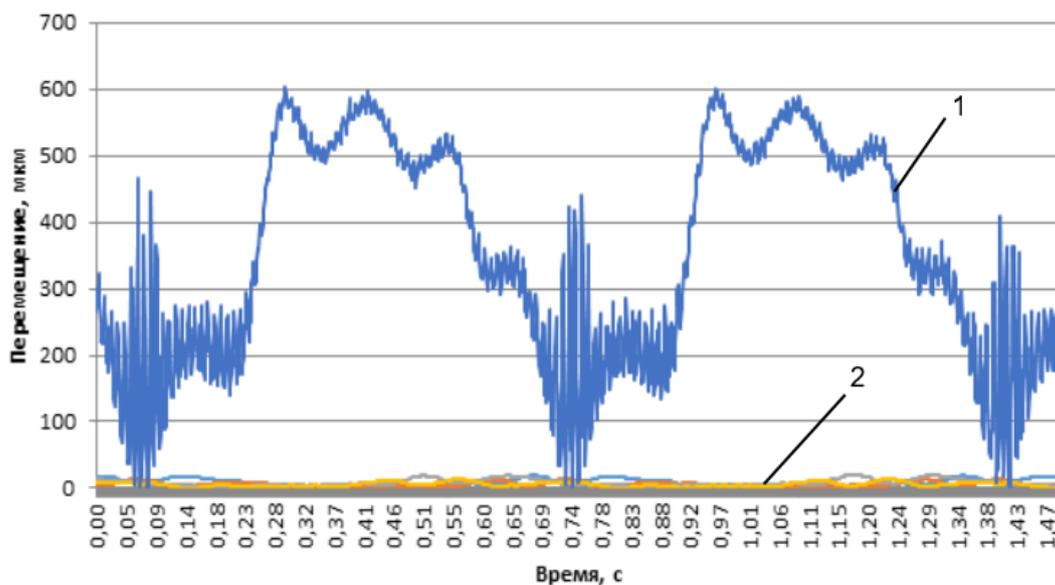


Рис. 2. График зависимости перемещения от времени для платформы активной виброизоляции на частоте 1,5 Гц: 1 - сигнал с датчика Д5 (сигнал без активной виброизоляции); 2 – сигналы с датчиков Д1, Д2, Д3, Д4.

Для этой частоты коэффициент передачи амплитуды виброперемещений составляет от 0,03 до 0,05. Полученные результаты показывают, что платформа активной виброизоляции с замкнутой системой управления на основе микроконтроллера способна эффективно уменьшать амплитуду виброперемещений на опасных для прецизионного высоковакуумного оборудования низких частотах.

ВЫВОДЫ

1. Для защиты прецизионного высоковакуумного оборудования от внешних вибраций целесообразно использование системы активной виброизоляции на основе магнитореологических (МР) эластомеров.

2. Наибольшей эффективностью виброзащиты обладает система, объединяющая в себе активную и пассивную виброизоляцию, в частности активную систему на основе МР демпферов и пассивную систему квазиулевого жёсткости на основе упругой подвески с массовыми корректорами.

3. Платформа активной виброизоляции на основе МР эластомеров с замкнутой системой управления на основе микроконтроллера эффективно уменьшает вибрации на низких частотах с коэффициентом передачи амплитуды виброперемещений не более 0,05.

ЛИТЕРАТУРА

1. W. Wigglesworth, S. Jordan. *Semicond. Int.*, 2009, 32, 10, pp 4–26
2. Böse Holger Würzburg, Röder Rene Grossenlupnitz. US Patent No. 20080318045 A1. Appl. No. 11/574397, 25.08.2005, Date of Patent 27.08.2004.
3. Yu. K. Gruzevich, V. A. Soldatenkov, V. M. Achil'diev, A. D. Levkovich, A. N. Bedro, M. N. Komarova, and I.V.Voronin. *Journal of Optical Technology*. Vol. 85, Issue 5, pp 308-313 (2018) <https://doi.org/10.1364/JOT.85.000308>
4. Active Vibration Isolation. Accurion. <http://www accurion.com>.
5. Ovchinnikov I., Brancevich P. 2017 *Procedia Engineering*. 176, pp 610-617 DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.304.

6. Krestnikovskiy K.V., Panovko G.Ya., Shokhin A.E. 2016 *Vibroengineering Procedia*. 8, pp 208-212
7. Panovko G., Shokhin A., Eremeykin S. 2016 *Vibroengineering Procedia*. 8, pp 174-178 (in Russian)
8. Chernikov, S.A. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. (2015) 44: 439. <https://doi.org/10.3103/S1052618815050052>.
9. Micro-Epsilon capaNCDT 6200 // URL: <https://www.microepsilon.com/download/manuals/man--capaNCDT-6200--en.pdf> (дата обращения: 16.05.2019)
10. Mikhailov V.P., Bazinenkov A.M. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2017. - Vol. 431. - pp 266 – 268 DOI: 10.1016/j.jmmm.2016.10.007.
11. V.P. Mikhailov, A.M. Bazinenkov, P. A. Dolinin and G. V. Stepanov. *Instruments and Experimental Techniques*, 2018, Vol. 61, No. 3, pp 427–432
12. V.P. Mikhailov, A.M. Bazinenkov, P. A. Dolinin and G. V. Stepanov. *Russian Engineering Research*, 2018, Vol. 38, No. 6, pp 434–437 DOI: 10.3103/S1068798X18060138.
13. V.P. Mikhailov, A.M. Bazinenkov, A.V. Kazakov, A.P. Rotar' and D.A. Ivanova. Active vibration isolation of high-vacuum nanotechnology equipment // *Journal of Physics: Conf. Series* 1313 (2019) 012041 doi: 10.1088/1742-6596/1313/1/012041.
14. V.P. Mikhailov, A.M. Bazinenkov and A.V. Kazakov. Active vibration isolation of nanotechnology equipment // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 709 (2020) 044046 doi:10.1088/1757-899X/709/4/044046.