

3. НВД-200 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vacma.ru/products/roots_pump/nvd/382/, свободный
4. Бурмистров А.В. Создание и исследование бесконтактных вакуумных насосов: дис...докт.техн.наук / А. В. Бурмистров; МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Москва, 2006. - 363с.
5. Бурмистров А.В., Караблинов Д.Г., Бронштейн М.Д. Влияние геометрических параметров эллиптического профиля на характеристики двухроторных вакуумных насосов типа Рутс // Компрессорная техника и пневматика. – 2004. - № 6. - С. 38-40.
6. RUVAC WS 1001 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.leyboldproducts.de/en/Products/Roots-Vacuum-Pumps/RUVAC-WS-WSU/Pumps/653/RUVAC-WS-1001>, свободный

Исследование вакуумных характеристик магнитореологических эластомеров и их использование в вакуумной технике

*А.М. Базиненков, В.П. Михайлов, А.П. Ротарь, Д.А. Иванова и А.В. Казаков
Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2-я Бауманская, 5
E-mail: ambazinenkov@bmstu.ru, mikhailov@bmstu.ru*

Представлена модель газовыделения из приповерхностного слоя магнитореологического (МР) эластомера, который является перспективным материалом для использования в вакуумных системах. Даны результаты исследований парциальных давлений выделяющихся из МР эластомера газов. Показаны также результаты экспериментальных исследований параметров переходных процессов при работе высокоточного привода на основе МР эластомера, который одновременно является активным демпфером и может использоваться в вакууме.

Research of vacuum characteristics of magneto-rheological elastomers and their use in vacuum technology. A.M. Bazinenkov, V.P. Mikhailov, A.P. Rotar', D.A. Ivanova, A.V. Kazakov. A model of gas evolution from the surface layer of a magneto-rheological (MR) elastomer, which is a promising material for use in vacuum systems, is described. The results of research of the partial pressures of gases exhaled from the MR elastomer are given. The results of experimental studies of the parameters of transients in the operation of a high-precision drive based on MR elastomer, which is both an active damper and can be used in vacuum, are also shown.

Магнитореологические (МР) эластомеры являются перспективными материалами для использования в вакууме в качестве регулируемых герметизирующих элементов вакуумных систем. Возможно также применение в вакуумных камерах позиционирующих и виброизолирующих механизмов для повышения качества проводимых исследований и технологических процессов [1,2]. В настоящее время вакуумные характеристики МР эластомеров мало изучены, в частности, не исследованы процессы десорбции и парциальный состав выделяющихся газов с поверхности и из объема материала с учетом его сложной пространственной структуры.

Фотография МР эластомера, полученная при помощи металлографического микроскопа с увеличением в 1600 раз, представлена на рис. 1. В прозрачном силиконовом каучуке видны сферические частицы карбонильного железа размером 1...10 мкм, структурированные под действием магнитного поля в цепочки. МР эластомеры относятся к классу так называемых «умных материалов» – “smart materials”, свойства которых изменяются под воздействием магнитного поля. МР эластомеры получают диспергированием магнитного порошка в жидком силиконовом каучуке с последующей полимеризацией композиции в форме [3]. В качестве магнитного наполнителя используется порошок карбонильного железа. Для улучшения

совместимости с силиконовой матрицей порошки модифицируются поверхностно-активными веществами и кремнийорганическими соединениями. Рассмотрим модель газовыделения из приповерхностного слоя МР эластомера (рис.2).

В прозрачном силиконовом каучуке распределены сферические микрочастицы карбонильного железа, которые под действием магнитного поля структурируются в кластеры. На поверхности микрочастиц адсорбированы молекулы поверхностно-активных веществ и кремнийорганических соединений, которые при нагреве МР эластомера начинают десорбировать и диффундировать из объема эластомера к поверхности, граничащей с вакуумной средой, где их концентрация близка к нулю. Затем происходит их десорбция и откачка вакуумной системой. Кроме того, при нагреве с поверхности образца МР эластомера десорбируют атмосферные газы, растворенные в силиконовом каучуке и диффундирующие к поверхности: пары воды, азот, водород и углекислый газ.

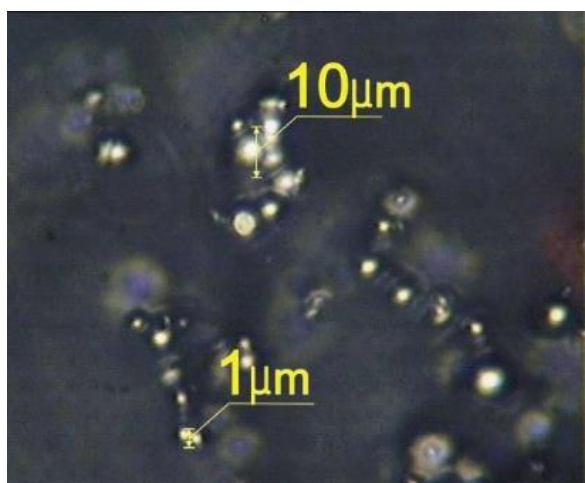


Рис. 1. Фотография МР эластомера на основе карбонильного железа

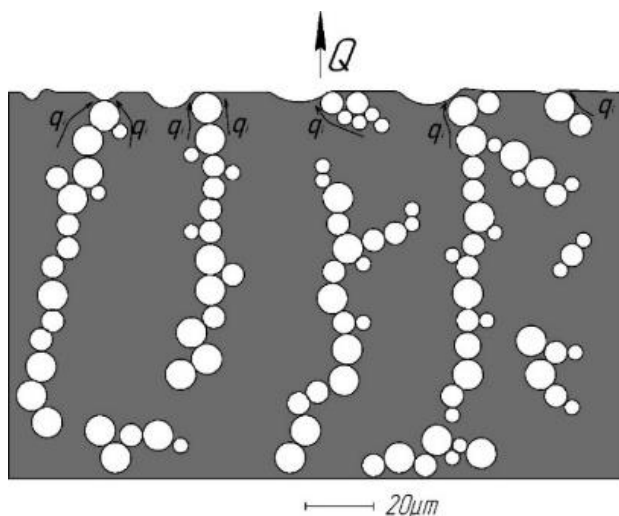


Рис. 2. Модель газовыделения из приповерхностного слоя МР эластомера

С целью изучения выделяющихся газов был проведен эксперимент с использованием откачного поста с колпаковой камерой. Для исследований образец эластомера помещался в запаянный медный штенгель. Откачка вакуумной системы проводилась в два этапа: форвакуумная откачка при помощи пластинчато-роторного насоса и высоковакуумная откачка при помощи диффузионного насоса. Процесс откачки наблюдался на экране блока системы управления, также к системе управления был подключен компьютер, присоединенный к квадрупольному масс-спектрометру.

При измерении парциальных давлений газов, оказывающих наибольшее влияние на суммарное давление в откачиваемом объеме, масс-спектрометр анализировал в каждый момент времени массы газов в диапазоне 1-200 а.е.м. Были проведены эксперименты по газовыделению МР эластомера при его следующей обработке: 1) Откачка штенгеля при комнатной температуре до предельного давления $5 \cdot 10^{-5}$ Торр; 2) Нагрев штенгеля до 150°C в течении 10 минут, выдержка при данной температуре 20 минут и последующее остывание.

Сначала был проведен эксперимент без прогрева откачиваемого объема для оценки поведения МР эластомера при обезгаживании. Было сделано предположение, что возможно сильное выделение растворенного газа даже при комнатной температуре со скачками газового потока из микропузырьков, не полностью удаленных при вулканизации МР эластомера. Эксперименты показали, что изменение давления при откачке имеет плавный экспоненциальный вид, характерный для стандартных вакуумных систем. При помощи масс-спектрометра во время откачки регистрировалось парциальное давление газов, а также записывалось текущее суммарное давление в штенгеле. По полученным с масс-спектрометра данным были построены графики-спектры давления для атомных единиц массы на каждом

интервале времени. График зависимости парциального давления при температуре прогрева 150°C приведен на рис. 3.

После анализа полученного графика были выявлены массы, имеющие максимальные значения давления (наибольшие пики на графиках), идентифицированы газы с данными массами. Выявлено, что при обезгаживании МР эластомера выделяются такие газы как водород, вода, азот и углекислый газ, также при повышении температуры появляется дополнительный газовый пик на массе 72, предположительно такую массу может иметь изопентан C_5H_{12} .

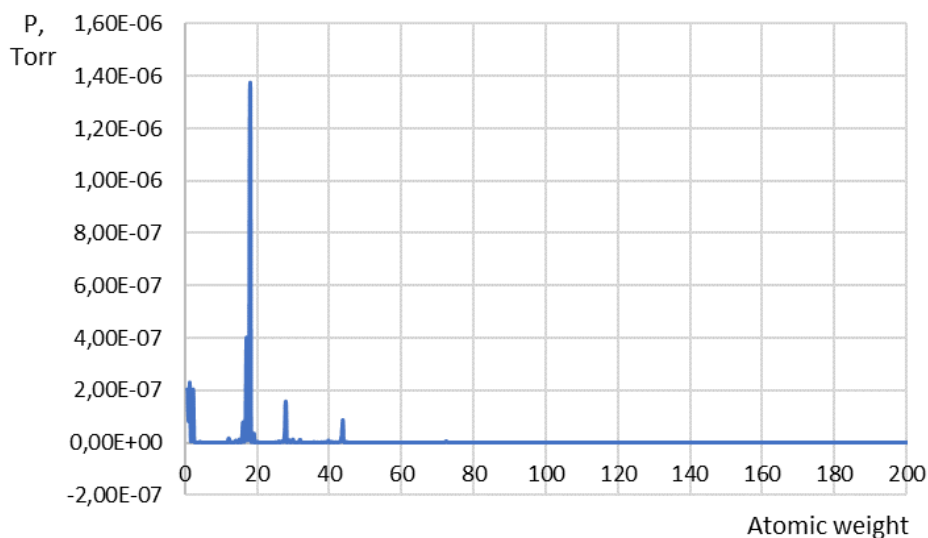


Рис. 3. График зависимости парциальных давлений газов при температуре 150°C

Для каждой из максимальных масс построены графики зависимости изменения парциального давления от времени откачки. По полученным графикам, представленным на рис. 4, можно говорить об интенсивности откачки различных газов. Видно уменьшение парциального давления газов с течением времени, что является характерной зависимостью при откачке вакуумных систем.

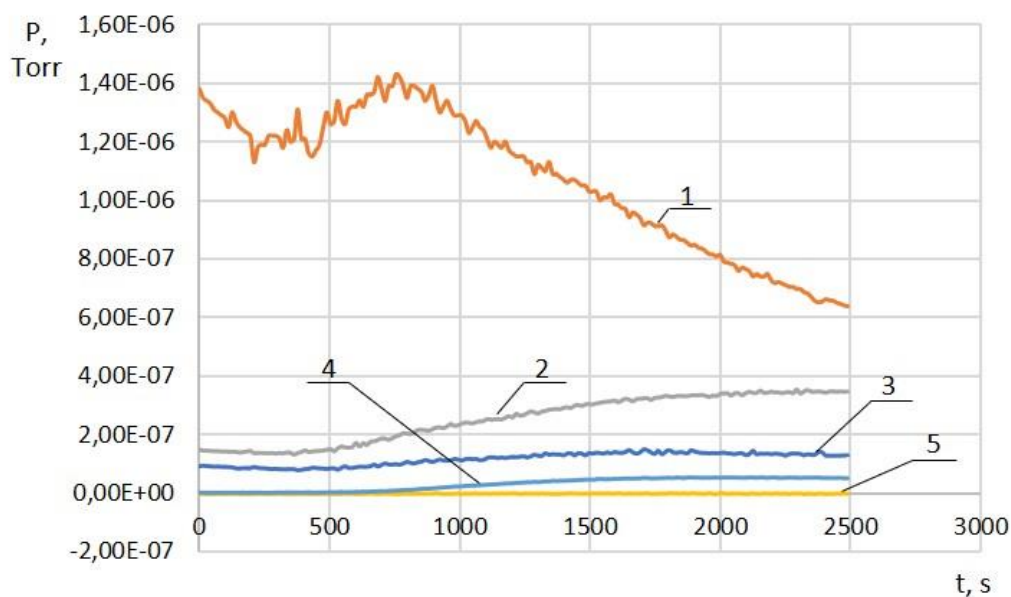


Рис. 4. Изменение парциальных давлений газов во времени при температуре 150°C для атомных масс: 1 – 18 а.е.м.; 2 – 28 а.е.м.; 3 – 2 а.е.м.; 4 – 72 а.е.м.; 5 – 44 а.е.м.

Из графиков видно, что при прогреве до 150°C процесс газовыделения интенсифицируется. С течением времени заметно, что увеличивается парциальное давление водорода, азота и углекислого газа. Парциальное давление воды с течением времени уменьшается, но виден всплеск. Данное изменение возможно из-за того, что толща МР эластомера прогрелась и начался поток газов из него, об этом же говорит и то, что парциальное давление газов начало увеличиваться.

По значениям масс максимально выделяющихся газов видно, что они входят в состав атмосферного воздуха, не являются специфическими для откачиваемого объема и МР эластомера. По графикам (рис. 4) видно, что максимальное парциальное давление имеют пары воды, это связано с тем, что все компоненты, входящие в состав МР эластомера, имеют водную основу, при откачке и прогреве пары воды диффундируют к поверхности и испаряются. При дополнительном прогреве появляется специфический газ – изопентан C_5H_{12} . Выделение данного газа возможно из модификатора (гидрофобизатор ГКЖ – 94), входящего в состав МР эластомера. Парциальное давление данного газа на два порядка ниже предельного давления вакуумной системы, таким образом можно говорить о том, что этот газ оказывает незначительное влияние на суммарное давление в камере. Применение МР эластомера в вакууме рассматривается не только в качестве регулируемого герметизатора, но и в качестве рабочего движущего элемента в системах позиционирования и активной виброизоляции.

В качестве примера применения МР эластомера в вакууме можно привести его использование в качестве активного элемента высокоточного привода для перемещения и виброзащиты внутрикамерных устройств. Решение задачи эффективной компенсации внешних вибрационных возмущений в области низких частот требует принципиально новых подходов, основанных на применении устройств, обеспечивающих активную виброизоляцию и позиционирование защищаемого объекта в субмикронном диапазоне с миллисекундным быстродействием [4-6].

Получены результаты экспериментальных исследований параметров переходных процессов при работе высокоточного привода на основе МР эластомера с замкнутой системой управления, который одновременно является активным демпфером (рис. 5). Активный демпфер представляет собой электромагнитный привод с демпфирующими свойствами, содержащий электромагнитную катушку, магнитопровод и мембрану на основе магнитореологического (МР) эластомера с жестким центром [7,8]. Создавая магнитное поле в мембране можно регулировать упругие свойства мембраны из МР эластомера и перемещать жесткий центр в осевом направлении. В результате экспериментов получены графики переходных процессов для различных значений коэффициента передачи к регулятора системы управления (рис. 6).

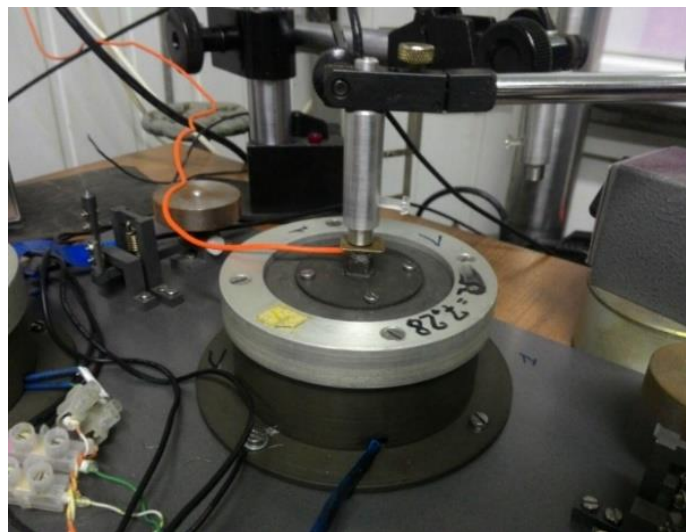


Рис. 5. Активный демпфер с установленным датчиком перемещений.

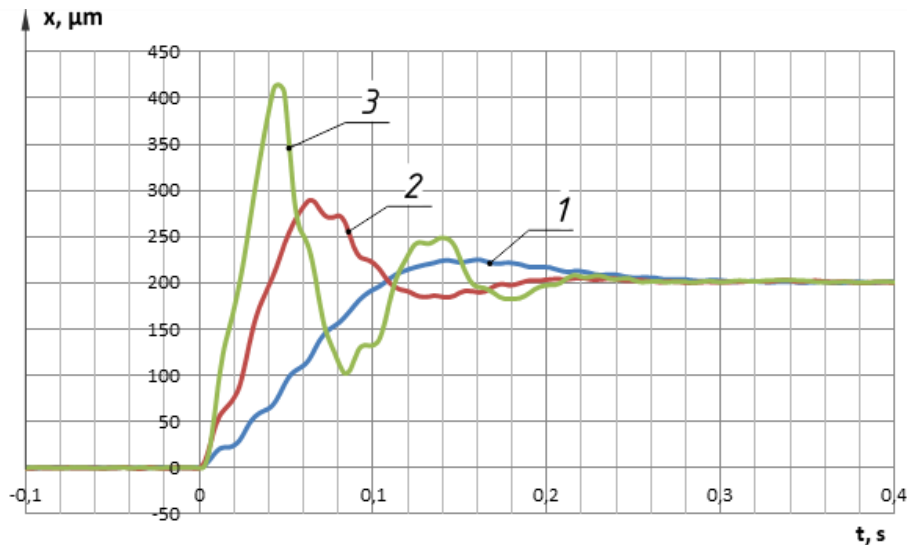


Рис. 6. Графики переходных процессов при перемещении активного демпфера с замкнутой системой управления на 200 мкм для различных значений коэффициента передачи k регулятора: 1 – 0,002; 2 – 0,005; 3 – 0,01.

Из графиков видно, что, подбирая значения коэффициента передачи k регулятора системы управления, можно задавать время переходного процесса, величину перегулирования, колебательность переходного процесса. Обеспечение эффективной виброизоляции в области резонансных частот можно обеспечить за счет использования замкнутой системы управления в активном режиме стабилизации положения платформы, что является предметом дальнейших исследований.

Благодарность

Исследования поддерживались Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках реализации базовой части государственного задания № 9.8503.2017/8.9 в сфере научной деятельности.

Литература

1. Mechanics and Physics of Precise Vacuum Mechanisms: FMIA Volume 91/ Series Editor R. Moreau, Springer, 2010. 234 p.
2. 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.
3. В.П. Михайлов, А.М. Базиненкова, П.А. Долинин, Г.В. Степанов. Определение динамических характеристик управляемого демпфера на основе магнитореологического эластомера. Приборы и техника эксперимента. 2018, № 2, С. 1–6. DOI: 10.7868/S0032816218020209
4. Оборудование ТМС для подавления вибраций. Режим доступа: <http://sernia.ru> (дата обращения 17.06.2019).
5. Active Vibration Isolation. Accurion. Режим доступа: <http://www.accurion.com> (дата обращения 17.06.2019).
6. Vibration Isolation Products. Minus K® Technology, Inc. Режим доступа: <http://www.minusk.com> (дата обращения 17.06.2019).
7. В.П. Михайлов, Тун Лин Аунг. Инженерная методика расчета и экспериментальные исследования платформы для активной виброзащиты. Труды МФТИ. 2018. Том 10, № 1, С. 92-96.
8. Михайлов В.П., Базиненков А.М. Долинин П.А., Степанов Г.В. Динамическое моделирование активного демпфера. Вестник машиностроения. 2018. - № 3. - С. 34 – 36.